

Bauplan-Nr. 47
Preis 1,– M

Klaus Schlenzig

Elektronische Lichtschalter

Inhalt

1. Einleitung

Zu den noch am leichtesten mit elektronischen Mitteln im Haushalt, in der Schule und im Betrieb realisierbaren Maßnahmen zur Einsparung von Energie gehört die an den Bedarf angepaßte Beleuchtung. Automatische Lichtschalter, steuerbare (Niederspannungs-) Leuchten und der Einsatz von Thyristoren sind Mittel dazu. Zum letztgenannten Teilkomplex erschien als Originalbauplan Nr. 31 1976 der Titel »Thyristor-Lampensteller«. Darin wurde auf die damalige Bauelementelage Rücksicht genommen. Der dort vorgestellte Halbwellensteller mit einer 110-V-Lampe am 220-V-Netz ist inzwischen nur noch für spezielle Anwendungen interessant oder dann, wenn eine möglichst billige einstellbare Lichtquelle gebraucht wird. Inzwischen sind die damals noch selten im Handel erhältlichen »netzfesten« Plastdioden der Reihe SY 320 (als 320/4 für Brückengleichrichter mit C-Belastung benutzt) bereits in der Industrie durch die Miniatur-Plasttypenreihe SY 360 abgelöst worden, und bisweilen erhält man sie auch schon im Amateurbedarfshandel. Diese Situation erleichtert die Lösung der Aufgabe »Lampensteller« beträchtlich.

Neben dem für diese Zwecke vorwiegend in Frage kommenden Thyristor ST 103 (netzfest ab ST 103/5) steht für höhere Ströme der ST 108 zur Verfügung, den man allerdings in die recht genaue Bohrung eines Aluminiumkühlbleches einpressen muß. Höhere Ströme bedeuten aber auch im Falle von Wechselstromstellern Gleichrichter höherer Leistung, so daß man diesen Typ möglichst in Anwendungen einsetzen sollte, die keinen Gleichrichter erfordern (z. B. als Gleichspannungsschalter für Niederspannung).

Triacs, also in beiden Spannungsrichtungen steuerbare Halbleitergleichrichter, gibt es nach wie vor nur aus Importen. Ihrem höheren Preis steht der Vorteil gegenüber, daß sie ohne eine Gleichrichterbrücke auskommen. Allerdings erfordern Unsymmetrien der Zündcharakteristik in den beiden Stromrichtungen u. U. besondere Schaltungsmaßnahmen. Das geeignetste Zündbauelement für den Triac ist der Diac, eine Spezialdiode, die in beiden Richtungen bei einer bestimmten Spannung (Größenordnung 30 V) »kontrolliert durchbricht« und die bis dahin gespeicherte Ladung eines Zündkondensators der Steuerstrecke des Triacs (oder auch eines Thyristors) impulsartig zuführt. Auch Diacs müssen z. Z. importiert werden, wie Triacs z. B. aus der ČSSR; Triacs stehen auch aus der UdSSR zur Verfügung.

Die Voraussetzungen für diesen Bauplan sind damit auf der Ausgabeseite, in Richtung Lampe, ausreichend gegeben.

Nicht jeder Bauplanleser ist in der Lage, die mit dem Umgang mit Netzstromkreisen verbundenen Gefahren richtig einzuschätzen. Aber auch Arbeiten an anderen netzbetriebenen Geräten wie Rundfunkempfängern oder Leistungsverstärkern kann bei Einhalten der Regel »Vor Öffnen Netzstecker ziehen!« der fortgeschrittene Amateur gefahrlos ausführen. Voraussetzung: Im Netzstromkreis wird nichts verändert! Vergleichbar ist die Lage beim Bau von Thyristor- oder Triac-Lampenstellern für Netzstromkreise. Dabei muß das Gerät jedoch so ausgeführt sein, daß vom Augenblick des Anschlusses an das Lichtnetz an keine von außen berührbaren Metallteile vorhanden sind. Vollisolation und zuverlässig berührungssicher gestalteter Anschluß sind also Bedingungen für den Betrieb dieser Geräte, die man auf jeden Fall vor der ersten Inbetriebnahme daraufhin von einem Fachmann überprüfen lassen muß. In einer solchen »Box« kann man viele weitere Bauelemente unterbringen, mit denen sich über den Rahmen eines einfachen Stellers am (entsprechend isolierten!) Potentiometerknopf Wirkungen auf elektronischem Wege hervorrufen lassen. Dafür geben andere moderne Bauelemente genügend Voraussetzungen. Soweit zur »Netzseite« dieses Bauplans. Auch für Anfänger, die sich nur mit Niederspannungsgeräten beschäftigen sollten, gibt es genügend Möglichkeiten: einmal durch leistungsfähige Trenntransformatoren mit Niederspannungsausgang, zum anderen durch reine Gleichspannungslösungen.

Unterstützt werden sie dabei wiederum durch das vielfältige Angebot an elektronischen Bauelementen der Optoelektronik. So bringt dieser Bauplan Anregungen für vieles, was sich zu Hause, in der Schule oder im Betrieb mit »gesteuertem Licht« realisieren läßt. Dabei hilft das »Spielen mit Licht« beim sinnvollen und maßvollen Einsatz von Elektroenergie.

Die Umsetzung in die Praxis wird durch die auch zu diesem Bauplan vorgesehene »typofix«-Leiterbildfolie wiederum wesentlich erleichtert.

2. Thyristorinformationen

Bei Beachtung einiger grundsätzlicher Sicherheitsregeln (z. B. Arbeiten nur bei entfernten Netzsicherungen) kann jeder mit den Grundlagen des Umgangs mit Netzstromkreisen Vertraute einen sachgemäß aufgebauten und nach außen isolierten Thyristor-Lampensteller z. B. genauso einbauen wie einen Lichtschalter. Dabei beachte man, daß auch ein nichtgezündeter Thyristor Netzspannung führt. Viele Schaltungen können aber auch hinter Schutztransformatoren an ungefährlichen Kleinspannungen – meist nur geringfügig modifiziert – bei entsprechend kleinerer »stellbarer« Leistung eingesetzt werden. Das erweitert den Kreis derer erheblich, für die die vorgestellten Beispiele nachbaugerecht sind.

Damit kann man bezüglich der Sicherheitsvorkehrungen folgende Richtlinien geben:

- Umgang mit Netzstromkreisen nur unter Beachtung (also bei Kenntnis) der Sicherheitsbestimmungen.
- Aufbau der Netzanschlußobjekte so, daß eine Berührung spannungführender Teile im Betrieb ausgeschlossen ist und auch im Fehlerfall (z. B. Draht fällt ab, oder eine denkbare mechanische Einwirkung beschädigt die Umhüllung) nicht auftreten kann. Gegebenenfalls Abnahme durch einen Fachmann. Zusätzlicher wichtiger Hinweis: Auch bei gesperrtem Thyristor liegt an der Gesamtschaltung Spannung! Daher vor Eingriffen stets 2polige Trennung vom Netz vornehmen!
- Für alle übrigen Leser: Einsatz nur hinter Schutztransformatoren im Kleinspannungsbereich bis maximal 42 V, z. B. in Verbindung mit Kfz-Lampen. Die Vorteile der nahezu verlustleistungsfreien Steuerung bleiben bei solchen Anwendungen erhalten, und Sicherheitsprobleme beschränken sich auf den Transformator. Innerhalb eines Typs sind Thyristoren für kleinere Spannungen außerdem auch billiger als für Netzspannung geeignete. Zu beachten sind bei Netzanschluß vor allem: TGL 200-0602, Bl. 2 und 3, jeweils Abschnitt 2. und 3., und TGL 200-0611, Bl. 2.

2.1. Allgemeines

Das Betriebsverhalten eines Thyristors unterscheidet sich z. B. wesentlich von dem eines Transistors. Ein einfacher Vergleich zur Arbeitsweise sei gestattet: Mit einem Streichholz läßt sich zwar eine Petroleumlampe anzünden, doch sie verlischt durchaus nicht, wenn man das Streichholz ausbläst. Erst z. B. durch Unterbrechen der Brennstoffzufuhr kann die Flamme gelöscht werden. Ähnlich verhält es sich beim Thyristor: Zunächst ist die »Hauptstrecke« (Anode – Katode) gesperrt, und zwar in beiden

Richtungen. Erhält die Steuerstrecke (Gate – Katode) jedoch einen Steuerimpuls bestimmter Eigenschaften (positive Stromrichtung, Mindestdauer, Mindestenergie), so wird sie durchlässig, und zwar von Anode nach Katode in positiver Stromrichtung. Abtrennen der Steuerquelle allein »löscht« den Thyristor noch nicht. Erst die Unterbrechung des Hauptstromkreises (oder mindestens Absinken des Stromes unter einen typenabhängigen »Haltestrom«) ergibt wieder Rückkehr zum gesperrten Zustand.

Der zugehörige Ladungsträgermechanismus läßt sich z. B. in den beiden electronica-Broschüren zum Thema Thyristoren von Pilz nachlesen. Bild 1 zeigt lediglich den Aufbau der bei uns erhältlichen Thyristoren sowie eine Nachbildung des Wirkprinzips mit 2 komplementären Transistoren. Die charakteristischen Kennlinien sind in Bild 2 (nicht maßstabgerecht) zusammengefaßt. Dazu einige Erläuterungen: Ein Thyristor sperrt im allgemeinen in beiden Richtungen bis etwa zur gleichen Höchstspannung. In der auch nach dem Zünden bei bestimmter U_{AK} sperrenden Richtung spricht man von Sperrspannung, vergleichbar mit der einer normalen pn-Diode. In »Schalter-Richtung« (Arbeitsrichtung), in der der Thyristor beim Zünden also durchlässig wird (bis auf eine Restspannung von etwa 1 bis 2 V je nach Typ und Strom), bezeichnet man die Sperrspannung dagegen als »Blockierspannung«. Zu beachten ist, daß sehr steile Spannungsanstiege (z. B. >20 V/μs) eine sogenannte Über-Kopf-Zündung hervorrufen können, ohne daß ein äußerer Steuerstrom fließt. Diese Betriebsart kann zum Ausfall des Thyristors führen. Eine Kondensator-Widerstandsbeschaltung (die auch noch gegen Überspannung bei induktiven Lasten schützt) kann das verhindern. Auf jeden Fall sind Thyristoren gegen Überspannungsimpulse sehr empfindlich, so daß man gern Typen mit möglichst hoher Sperr- und Blockierspannung wählt.

Auch eine bestimmte höchste Stromanstiegsgeschwindigkeit beim Einschalten darf nicht überschritten werden. Das läßt sich meist mit einer Drossel berücksichtigen, die ohnehin bei Phasenanschnittsteuerungen wegen der von der Schaltung erzeugten Störimpulse nötig ist, die von der Netzzuleitung ferngehalten werden müssen (andernfalls ergeben sich Rundfunkstörungen). Steuerseitig darf der Thyristor ebenfalls nicht überfordert werden. Das bezieht sich auf die Steuerleistung, die durch den Steuerstrom und seine prozentuale Dauer je Periode (bei Wechselspannung bzw. pulsierender Gleichspannung) bestimmt wird. Der Steuereingang G – K ist als Diode zu betrachten, die in Durchlaßrichtung betrieben wird (Durchlaß in Richtung Katode). Jeder Thyristortyp benötigt einen (temperaturabhängigen) Mindeststeuerstrom zum Zünden bei einer bestimmten Mindestspannung. Bild 3 zeigt den Streubereich für einen Typ (Durchlaß also Steuerrichtung).

Noch ein Wort zu den Betriebsfrequenzen: In diesem Bauplan wurde auf Netzfrequenz, also 50 Hz (bzw. – mit Graetz-Brücke betrieben – 100-Hz-Impulse) begrenzt. Für höhere Frequenzen muß ein Thyristortyp besonders geeignet sein (z. B. »selbstgeführte« Wechselrichter u. ä.), denn nach dem Abschalten vergeht eine endliche »Freiwerdezeit«, nach der erst wieder die volle Blockierspannung angelegt werden darf.

Jeder Thyristortyp verträgt neben dem zugelassenen Dauerstrom (bei bestimmter Temperatur) noch einen periodischen Spitzenstrom und einen Impulsgrenzstrom. Die Datenblätter geben darüber Auskunft. Im Betrieb tritt bei Ausnutzung der Grenzdaten eine erhebliche Erwärmung auf, die von einem bestimmten Wert der Verlustleistung an zusätzliche Kühlmaßnahmen verlangt. Dafür kann z. B. der ST 103 mit seiner Kühlfahne auf einem kleinen Kühlblech befestigt werden. ČSSR-Kleinthyristoren in rundem Transistorgehäuse können mit handelsüblichen Kühlsternen gekühlt werden. Verschiedene Thyristorbauformen erkennt man aus Bild 4a, Kühlkörper zeigt Bild 4b.

2.2. Zündung

Ein Thyristor zündet (sofern eine richtig gepolte Betriebsspannung in Serie mit einem Verbraucher anliegt, der auch den Haltestrom für den weiteren Stromfluß gewährleistet), wenn der Steuerelektrode für eine bestimmte Mindestzeit ein ausreichend großer Steuerstrom bei entsprechender Spannung zugeführt wird (s. Bild 3). Die Mindestzeit ergibt sich aus der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ladungsträger im Kristall, bevor die »Übernahme« der Wirkung des Steuerstroms durch den Hauptstromkreis gewährleistet ist. Infolge der Exemplarstreuungen und der temperatur- sowie spannungsbedingten Einflüsse unterliegt der Zündzeitpunkt bei einem durch Widerstand eingestellten Steuerstrom Schwankungen. Daher bevorzugt man die Impulszündung. Die Unterschiede zeigt Bild 5: Nach Bild 5b wird ein Kondensator über einen Vorwiderstand auf die Zündspannung eines speziellen Bauelements aufgeladen (Glimmlampe oder Vierschichtdiode). Sobald sie erreicht ist, zündet der Thyristor sicher, sofern der Kondensator richtig dimensioniert worden ist. Man beachte, daß der erforderliche Zündstrom so lange fließen muß, bis der Haltestrom des Thyristors im Hauptstromkreis erreicht bzw. überschritten wird. Das ist aber z. B. bei induktiven Lasten (Motoren!) später der Fall als bei ohmschen Verbrauchern (Lampen, Heizkörpern).

Zündbauelemente

Einfachstes Zündbauelement ist die Glimmlampe. Ihr Nachteil: Man benötigt eine relativ hohe Spannung (Größenordnung 80 V). Das ist, wie sich noch zeigen wird, mit einer schlechten Ausnutzung der Netzwechselspannung verbunden. Wegen des erforderlichen Mindeststromes (typenabhängig wenigstens einige zehn Milliampere) kommen auch nur spezielle Ausführungen in Frage.

Bei etwa 25 bis 30 V zünden Vierschichtdioden, sogenannte Diacs. Sie stehen jedoch z. Z. nur begrenzt aus Importen zur Verfügung. Ein höherer Schaltungsaufwand führt zum gleichen Ergebnis, hat aber den Vorteil, daß die Bauelemente leicht verfügbar und relativ billig sind (Bild 6a). Mit einer solchen Schaltung wurden bei der Lösung mehrerer Aufgaben gute Erfahrungen gemacht. Bild 6b zeigt den Einsatz einer Glimmlampe als Zündbauelement.

Thyristorzündung mit Wechselspannung

Der Wechselspannungsbetrieb bietet automatisch die Lösung der für den Thyristor so wichtigen Abschaltfrage. Nach jeder Halbwelle »kommutiert« die Spannung, wechselt also ihre Polarität. Schon kurz zuvor sperrt der in der positiven Halbwelle gezündete Thyristor, nämlich dann, wenn sein Haltestrom infolge der abgesunkenen Spannung unterschritten wird (konstanten Verbraucherwiderstand vorausgesetzt). In der negativen Halbwelle bleibt er gesperrt. (In dieser Phase darf kein Zündimpuls anliegen.) Der Verbraucher erhält also gemäß Bild 7 maximal Halbwellen (exakt etwas weniger, da erst die Zündspannung erreicht werden muß und weil bereits unterhalb des Haltestroms wieder abgeschaltet wird). Beide Halbwellen mit einem Bauelement auszunutzen gestattet der Triac, der bei Redaktionsschluß aber nur aus Importen zur Verfügung stand (z. B. aus der Sowjetunion).

Der Zündzeitpunkt des Thyristors innerhalb der positiven Halbwelle wird mit dem bereits angedeuteten Potentiometer in den Schaltungen nach Bild 6 eingestellt. Dabei sind um so kleinere R-Grundwerte erforderlich, je größer C ist. Diese Impulszündung hat gegenüber einer einfachen Stromeinspeisung mit Widerstand allein übrigens noch einen wesentlichen Vorzug: Der Zündzeitpunkt kann bis nahezu an das Ende der Durchlaßphase gelegt werden, während eine R-begrenzte Stromsteuerung zwangsläufig nur bis 90° ($U_{Scheitel}$) funktioniert, wovon man sich durch einfache Überlegung überzeugen kann.

2.3. Störungen

Die im Bild 7 dargestellte Phasenanschnittsteuerung ergibt starke Rundfunkstörungen, wenn die Schaltung in der einfachen Form nach Bild 7a an das Netz angeschlossen wird. Eine Ergänzung nach Bild 7e verhindert das. Achtung! Sollte die Schaltung nicht bereits – von der Gesamtschaltung her bedingt – einen Entladewiderstand für C enthalten, so muß ein solcher vorgesehen werden, damit U_C schon kurz nach Herausziehen des Netzsteckers einen ungefährlichen Wert angenommen hat, denn der Stecker ist ja danach berührbar! Als Kriterium für die Wirksamkeit einer solchen Entstörung mag gelten, daß ein möglichst nahe dem Thyristorgerät ans gleiche Netz angeschlossener Rundfunkempfänger mit Innenantenne auf Mittel- und Langwelle keine störenden Schnarrgeräusche mehr wiedergibt. Die vorgestellten Schaltungen enthalten solche Entstörmaßnahmen, die in den entsprechenden Abschnitten behandelt werden.

2.4. Prüfen von Thyristoren

Im Zusammenhang mit diesem Abschnitt betrachte man nochmals Bild 2. Bei den in Abschnitt 3. vorgestellten Schaltungen wurde stets vorausgesetzt, daß der Thyristor wenigstens den Bedingungen der

Spannungsklasse 4 genügt, d. h., daß er mit Sicherheit 400 V Spitzenspannung sowohl in Sperr- wie auch in Blockierrichtung aushält. Sicherer bezüglich möglicher Spannungsspitzen aus dem Netz oder – wenn die Schaltung Induktivitäten enthält – wegen deren Abschaltspannungen ist es jedoch, Klasse 5 oder gar 6 einzusetzen.

Außerdem wird als selbstverständlich vorausgesetzt, daß der Thyristor überhaupt funktioniert. Eine Prüfung auf Funktionstüchtigkeit ist auch bei Markenware mit aufgedruckten Daten vor dem Einsatz stets zu empfehlen und relativ leicht möglich, während die Ermittlung der Spannungsklasse bei nicht-typisierten Exemplaren das Vorhandensein einer Spannungsquelle möglichst bis 600 V voraussetzt. Vielfach wird man vielleicht beim Leiter der Arbeitsgemeinschaft Elektronik oder im GST-Stützpunkt Hilfe finden. Alle Leser, denen der Umgang mit höheren Spannungen nicht mehr fremd ist, finden aber in Bild 11 am Ende dieses Abschnitts einen günstigen Ausweg. Bild 8 zeigt Bauformen und Anschlüsse von in der DDR hergestellten Thyristoren.

Nach Bild 9 prüft man dann die Funktionsfähigkeit und mißt schließlich bei $U_{AK} \approx 6$ V (das ist ein häufig empfohlener Wert) die Hauptdaten außer Spannungsklasse, also Zündspannung, Zündstrom (nach Bild 10) und Haltestrom (bei abgeschaltetem Zündkreis).

Für die Prüfung der Spannungsfestigkeit wird folgender Weg vorgeschlagen, der zwei Vorzüge hat: Es wird von einer ungefährlichen, vom Netz getrennten Kleinspannung ausgegangen, und eine Prüfaufnahme verhindert, daß man versehentlich mit der hohen Spannung in Berührung kommt. Die Schaltung nach Bild 11 mag bezüglich der Wahl der Bauelemente etwas »unkonventionell« sein, bewies aber ihre Brauchbarkeit. (Allerdings setzt die Isolationsfestigkeit des Klingeltransformators diesen Messungen eine obere Grenze.) Man geht von einem Schutztransformator aus, dessen Sekundärspannung 15 bis 20 V bei wenigstens etwa 0,5 A Nennbelastbarkeit betragen sollte. (Bei 20 V erreicht man in der Anordnung etwa 600 V Spitzenspannung.) Ein Eisenbahn-Zubehörtransformator für 16 V Nennspannung ist für die Messung ebenfalls ausreichend. Mit einem Drahtpotentiometer (10-W-Typ) von 100 Ω (notfalls 50 Ω) läßt sich diese Spannung von 0 bis zum Maximalwert abgreifen. Es empfiehlt sich, sekundärseitig ein Wechselspannungsvoltmeter anzuschließen, denn bei einer einmaligen Potentiometer-Kalibrierung würden z. B. Netzspannungsänderungen unbemerkt bleiben. Da solche Instrumente in Effektivwerten geeicht sind, ist der ermittelte Grenzwert mit 1,4 zu multiplizieren (Spitzenwert), wenn der Prüfling in die entsprechende Spannungsklasse eingeordnet werden soll.

Der Schutzwiderstand im Meßkreis soll den Maximalstrom begrenzen. Er darf bezüglich Leistung unterdimensioniert sein, da er die Leistung der Quelle nur im Fehlerfall aufzunehmen hat. Zusätzlich wurde eine flinke Sicherung für 35 mA vorgesehen.

Die Gleichrichterdiode (wenigstens eine SY 206 bzw. SY 320/6) bewirkt, daß der Prüfling in beiden Richtungen einzeln gemessen werden kann. Das bedingt allerdings für den angezeigten Strom einen Korrekturfaktor, da bei einem Drehspulinstrument nur der arithmetische Mittelwert angezeigt wird. Für den Test genügt es, wenn man den Meßwert etwa mit Faktor 3 multipliziert. Der z. B. für den ST 111 zugelassene maximale Sperrstrom von 5 mA ist also erreicht, wenn das Instrument etwa 1,7 mA anzeigt. Die vorhandenen, für Netzspannungsbetrieb geeigneten Exemplare des Basteltyps LT 10 S ergaben übrigens bei 600 V Spitzenspannung weniger als 50 μA, während an einem dieser Thyristoren 1,7 mA bereits bei 100 V Spitzenspannung erreicht wurden. Das bedeutet also Beschränkung auf Niederspannung. Von den vorhandenen untypisierten Plastthyristoren zeigten mehr als 50 % bis 500 V Spitzenspannung weniger als 20 μA Sperrstrom in beiden Richtungen!

Ein Hinweis noch zum Berührungsschutz: Zunächst einmal beginne man stets beim linken Anschlag des Potentiometers. Das muß sich deutlich erkennen lassen. Weiterhin empfiehlt sich eine mit einem zusätzlichen Vorwiderstand (Wert je nach Lampentyp) versehene Glimmlampe direkt an der Sekundärseite des gekapselt bleibenden Klingeltransformators. Schließlich aber sind, wie in Bild 11 ebenfalls angedeutet, primär-, notfalls sekundärseitig 2 Mikrotaster einzuschleifen, die den Stromkreis erst dann schließen, wenn die Aufnahme des Prüflings geschlossen wird. Für diesen Zweck eignet sich z. B. ein durchsichtiger Plastbehälter mit Scharnierdeckel (Anglerzubehör o. ä.), wobei die Mikrotaster etwa nach Bild 12 zu montieren sind. Selbstverständlich müssen auch die Anschlüsse (vor allem, falls im Sekundärkreis liegend) sorgfältig isoliert werden.

2.5. Daten von Thyristoren aus DDR-Fertigung

Zur Abrundung noch die wichtigsten Daten von in der DDR gefertigten Thyristoren (bei 25 °C). Die auf den Exemplaren hinter dem Schrägstrich in der Typenbezeichnung enthaltene Zahl gibt, mit 100 multipliziert, die Höhe der periodischen Spitzensperr- und der periodischen Spitzenblockierspannung an: 0,5 also = 50 V, 1 = 100 V, 10 = 1000 V usw. Im allgemeinen setzt man die Typen mindestens mit einem Sicherheitsfaktor von 1,3 gegenüber der höchsten periodischen Spitzenspannung an, die im Anwendungsfall auftritt, bei 220 V Wechselspannung also mit $\sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1{,}3\ \text{V} \approx 400$ V. Nicht in Tabelle 1 angegebene Werte fehlten im benutzten Katalog. Quelle: RFT-Halbleiter-Bauelemente 1974.

2.6. Niederspannungseinsatz von Thyristoren

Je nach Verfügbarkeit von Schutztransformatoren bis etwa 42 V Sekundärspannung bei entsprechender Belastbarkeit in Verbindung mit Niederspannungslampen lassen sich vom Netz getrennte, also auch beim Hantieren ungefährliche Schaltungen aufbauen.

Da vertretbare Lampenleistungen infolge der kleineren Spannungen schnell zu hohen Strömen führen und weil außerdem der bis zu 10fache Lampenkaltstromstoß zu beachten ist, wird man vielfach Thyristoren größerer Strom- und Leistungsbelastbarkeit einsetzen müssen, wie sie u. a. zeitweise als Basteltypen (und damit auf jeden Fall für Niederspannung geeignet) »LT 10 S« in der Bauform des Markentyps ST 111 bzw. ST 121 angeboten wurden.

Man setzt sie – wenn die volle Belastbarkeit bis zu 13 A gewünscht wird – mit dem dazu erhältlichen Kühlkörper K 50/M8 (bis 9 A mit K 25/M8) ein. Steuerseitig ist zu bedenken, daß der Zündstrom (bei bis zu etwa 3 V Zündspannung) in der Größenordnung von 100 mA liegen kann, so daß man bei der Dimensionierung der Zündschaltung darauf Rücksicht nehmen muß. Die Durchlaßspannung liegt im allgemeinen unter 2 V, muß aber gerade in Niederspannungskreisen berücksichtigt werden, denn sie stellt bereits einen beachtenswerten Prozentsatz der verfügbaren Spannung dar!

Unter der Voraussetzung einer Betriebsspannung von z. B. 12 V und einem K 25/M8 als Kühlkörper lassen sich – wenn gegen den Kaltstromstoß Maßnahmen möglich sind – also 2 Pkw-Lampen von je 35 W betreiben. Das bedeutet bereits eine beachtliche Helligkeit, da der Wirkungsgrad dieser Niederspannungslampen gut ist. Vorausgesetzt werden muß selbstverständlich ein Netztransformator ausreichender Belastbarkeit, dessen Sekundärwicklung entsprechend den Sicherheitsvorschriften gegenüber der Primärseite isoliert worden ist. Er ist so in einem stabilen, schützenden und isolierenden Gehäuse zu montieren, daß auch im Fehlerfall zwischen Sekundär- und Primärkreis keine galvanische Verbindung entstehen kann.

3. Thyristorschaltungen

Die im folgenden vorgestellten Beispiele sind für Netzbetrieb dimensioniert worden. Jeder, der im Umgang mit Netzstromkreisen vertraut ist, kann sie einsetzen, wenn beim Nachbau für den zuverlässigen Schutz gegen Berühren spannungführender Teile Sorge getragen wird. Alle anderen Leser müssen, wie schon erwähnt, mit Kleinspannungen hinter Schutztransformatoren arbeiten, also entsprechende Verbraucher kleinerer Betriebsspannung einsetzen. Auch dafür gibt es ein reichhaltiges Sortiment, angefangen bei der 6-V-Kfz-Lampe bis hin zur 22-V-Effekt-Beleuchtung. Wesentlich ist, daß die Grenzdaten des verwendeten Thyristors nicht überschritten werden. Das betrifft bei Kleinspannungen vor allem den Strom, während bezüglich der Spannung Typen eingesetzt werden können, die Netzspannung nicht aushalten würden, die also meist billiger sind. Beim Strom bedenke man stets, daß der Kaltstrom einer Glühlampe zwischen 5- und 10mal so groß ist wie der Wert U_{nenn}/I_{nenn}. Daher sind solche Ansteuerschaltungen günstig, bei denen der Thyristor zunächst nur am Ende der Halbwelle gezündet wird, so daß der Stromimpuls z. B. wegen $U_{nenn}/10$ auch nur $I_{kalt}/10$ ($I_{kalt} = U/R_{kalt}$) werden kann. Das ist zwangsläufig bei allen Schaltungen sichergestellt, die über ein mit dem Einschalter gekoppeltes Potentiometer verfügen (Widerstände so beschalten, daß R_{max} in Aus-Stellung!) bzw. die ein »Anlauf-Verhalten« beim Einschalten haben.

3.1. Thyristor-Lampensteller

Mit der Schaltung nach Bild 13 kann man jede im Haushalt eingesetzte Glühlampe vom schwachen Glimmen bis zur vollen Helligkeit einstellen, ohne daß eine im Vergleich zur Nutzleistung wesentliche Verlustleistung entsteht. (Die Verlustleistung ist bedingt durch die – geringe – Thyristorrestspannung, durch die Steuerleistung und durch die in den Widerständen des Steuerkreises im Wärme umgesetzte Leistung.)

Die in den ursprünglichen Lampenkreis nach Bild 13a statt des Schalters einzufügende Schaltung setzt sich nach Bild 14 aus folgenden Funktionsgruppen zusammen: Entstörschaltung, Graetz-Brücke (damit der nur in einer Richtung zündende Thyristor beide Halbwellen der Netzwechselspannung ausnutzen kann; ein Triac käme ohne diese Brücke aus. Der Verbraucher erhält bei dieser Schaltung also mit 100 Hz pulsierende Gleichspannung!); Thyristor; Zündschaltung mit einstellbarem Zündwinkel. Für die Zündschaltung wird die bereits in Bild 6a kurz vorgestellte pnp/npn-Transistorkombination verwendet. Als Entstördrossel für diese und alle anderen Schaltungen wurde ein Schalenkern 22 × 13, A_L zwischen 160 und 400, mit etwa 100 Wdg., 0,4-mm-CuL benutzt.

Einige Schaltungseinzelheiten sollen noch kurz erläutert werden, da sie für das einwandfreie Funktionieren der Schaltung von Bedeutung sind. Zunächst fällt der Widerstand zwischen Pluspol der Graetz-Brücke und der Thyristoranode auf. Er unterdrückt Instabilitäten, die sonst bei kleinem Zündwinkel, also frühem Zündeinsatz (große Helligkeit) auftreten können. Kleine Lampenleistungen erfordern größeres R (bis etwa 10 Ω). Günstiger bezüglich Wärmeentwicklung ist eine Drossel von etwa 1 mH, realisiert z. B. mit Schalenkern 18 × 11, A_L 40, w ≈ 150, Draht 0,3-mm-CuL. Ein etwa 15 mm langes Ferritstabstückchen eignet sich zwar auch, ergibt aber ein magnetisches Störfeld. Der Parallelwiderstand zum Potentiometer engt seinen Bereich ein; günstiger – wenn erhältlich – ist also ein 5-kΩ-Potentiometer mit Schalter, das eventuell ohne Shunt betrieben werden kann. Der Serienwiderstand (im Bild 0,82 kΩ für 100-W-Lampe) wird auf größtmögliche Helligkeit abgeglichen. Wird er zu klein gewählt, so werden die Zündbedingungen nicht mehr erfüllt. Die Lampe geht dann bei Drehung des Potentiometers zum rechten Anschlag aus, statt heller zu werden! Hinweis: Bei kleineren Lampenleistungen sind für diesen Widerstand größere Werte nötig!

Eine besondere Bedeutung hat auch der Widerstand parallel zum Zündkondensator. Ohne ihn kann folgender Effekt auftreten: Beim Einschalten flackert die Lampe unruhig; erst beim weiteren Aufdrehen des Potentiometers erhält man ein ruhiges, mit wachsendem Drehwinkel heller werdendes Glimmen. Der Widerstand bewirkt also eine definierte Spannung am Zündkondensator, die dadurch vor allem von der Potentiometerstellung und nur wenig vom Maß der Entladung des Kondensators über die Zündschaltung abhängt. (Hinweis: Die verwendeten Thyristoren benötigen Zündströme von etwa 20 mA. Bei abweichenden Werten ist gegebenenfalls Variieren der das Zündverhalten bestimmenden Bauelemente erforderlich, damit wieder der größtmögliche Stellbereich erzielt wird!)

Typischer Einsatzfall eines solchen Lampenstellers (in der Literatur auch – aus dem Englischen entlehnt – als »Dimmerschalter« bezeichnet) ist der Einbau in eine Unterputzdose statt des normalen Lichtschalters. Mit einem Plastthyristor ST 103/5 gelingt das ohne allzu große Mühe. Ein dafür geeignetes Leiterbild zeigt Bild 15, die Bestückung geht aus Bild 16 hervor. Montiert wird in der Reihenfolge: Potentiometer – Lüsterklemmenleiste mit Schalenkern (über Senkkopfschraube M3 × 30 gemeinsam befestigt, möglichst Messing) – Entstörkondensatoren (wegen der begrenzten Bauhöhe 2 × 0,047 µF/1000 V parallelgeschaltet, stehend eingelötet) – übrige Bauelemente (ebenfalls stehend montiert). Für Lampen bis etwa 60 W muß der Thyristor nicht unbedingt gekühlt werden; darüber empfiehlt sich zum besseren Temperaturausgleich ein Kühlblech von etwa 30 mm × 30 mm, das etwas abgewinkelt wird und innen an der Dosenwand anliegt. Selbstverständlich muß die Unterputzdose aus isolierendem Plast bestehen!

Die 4 Gleichrichter der Graetz-Brücke wurden leiterseitig angeordnet. Besonders günstig dafür sind die Plasttypen der Reihe SY 320 oder (noch besser) die kleineren SY 360/4. Falls sie nicht greifbar sein sollten, muß mit SY 204 gearbeitet werden, die man dann bei Lampenleistungen bis zu 100 W mit wärmefestem Isolierschlauch überziehen sollte. Da dieser Schlauch (Silikongummi) nicht immer verfügbar sein wird, ist eine isolierende Zwischenplatte günstiger, z. B. aus Hartpapier. Im Muster wurde

sowohl die Leiterplatte als auch die Deckplatte über dieselben Schrauben an der Unterputzdose befestigt. Statt dessen kann aber auch zunächst die Leiterplatte nach Anklemmen der Zuleitungen (Netzsicherungen vorher entfernen!) angeschraubt werden, während man anschließend die Abdeckung getrennt montiert. Dazu muß allerdings eine weitere Befestigungsmöglichkeit geschaffen werden, etwa durch M3-Gewinde in randnahen Isolierpartien der Leiterplatte oder – besser – in Blechstückchen, die man z. B. nach Bild 17 befestigt. Auf jeden Fall müssen von außen berührbare Schrauben (bzw. andere eventuell vorhandene Metallteile) mindestens 4 mm, nach neueren Forderungen 6 mm, Abstand von spannungführenden Teilen haben und dürfen auch im Fehlerfall nicht mit dem Netzstromkreis – zu dem auch die Zündschaltung zählt! – in Berührung kommen. Alle beschriebenen Einheiten dürfen nur in trockenen Räumen eingebaut und eingesetzt werden! Die Abdeckung wurde im Muster aus einer etwa 2,5 mm dicken Polystyrolplatte, wie sie in Form von Wandfliesen gehandelt wurde, gesägt. Den Abstand zur Leiterplatte, der durch die Gleichrichter bestimmt wird, hält ein aus Polystyrolleisten bestehender Rahmen, zuverlässig mit Plastkleber mit der Abdeckplatte verbunden. Hinweise für diese Abdeckung unter Berücksichtigung der im Durchmesser ungünstigsten SY 204 gibt Bild 18.

Als Drehknopf empfiehlt sich eine geriffelte, griffige Ausführung. Zwar muß beim Aufbau dafür gesorgt werden, daß das Potentiometergehäuse von der übrigen Schaltung isoliert bleibt, doch sollte dennoch (wegen der begrenzten Spannungsfestigkeit zwischen Gehäuse und Widerstandsbahn) nicht nur eine zuverlässige Montage des Drehknopfes erfolgen, sondern seine Klemmschraube muß sich so tief im Körper befinden, daß eine Berührung ausgeschlossen ist. Zusätzliches Ausfüllen, z. B. mit Suralin-Masse, bietet weiteren Schutz.

Eine völlig gefahrlose Lösung (weil dann auch nicht versehentlich der Knopf entfernt werden kann und dadurch bei einem Fehlerfall bezüglich Potentiometerpotential bzw. nicht ausreichender Spannungsfestigkeit gegen Gehäuse an der Achse Spannung liegt) zeigt Bild 19, wenn nicht von vornherein ein Potentiometer mit Isolierachse zur Verfügung steht. Die entsprechend kürzere Achse (kürzen wird man ohnehin meist müssen) wird mit der Feile gemäß Bild 19 bearbeitet. Die Deckplatte erhält seitlich einen entsprechenden Ausschnitt. Diese Lösung ist also der des Musters vorzuziehen.

3.2. Lichtgesteuerte Einschalter

In fensterlosen Räumen, in denen es also dauernd dunkel ist, kann die Raumbeleuchtung über einen Fotowiderstand in Verbindung mit der Schaltung nach 3.1. eingeschaltet werden. Dabei wünscht man nur die Zustände »volle Helligkeit« oder »aus«. Ein Potentiometer kann also entfallen; an seine Stelle tritt der Fotowiderstand. Abgeglichen wird mit dem Vorwiderstand so (in Bild 13 also 820 Ω für 100-W-Lampe als Erfahrungswert), daß die Beleuchtung bei maximaler Helligkeit noch sicher funktioniert. Bild 20 zeigt diese Variante. Der Fotowiderstand kann statt der Potentiometerachse hinter der entsprechend erweiterten und von innen mit durchsichtigem Plastmaterial berührungssicher abgedeckten Öffnung in der Deckplatte angebracht werden. Es ist dafür zu sorgen, daß das Lampenlicht voll auf den Fotowiderstand fällt; außerdem arbeitet die Anordnung nur in einem begrenzten Entfernungsbereich zwischen Lampe und Fotowiderstand, abhängig auch von der erreichbaren Lampenhelligkeit. Bei Betreten des dunklen Raums wird die Beleuchtungseinrichtung zunächst mit einer Taschenlampe (oder auch mit einem Streichholz) »gezündet«. Danach entsteht zwischen Raumleuchte und Fotowiderstand eine Rückkopplung, die den Zustand größtmöglicher Lampenhelligkeit stabilisiert. Soll das Licht wieder gelöscht werden, ist diese Rückkopplung kurzzeitig zu unterbrechen. Das kann durch Abdecken der Fotowiderstandsöffnung mit einem Finger geschehen. (Daher muß diese Öffnung – s. Bild 21 – auch unbedingt berührungssicher abgedeckt sein!)

Schwierigkeiten beim Löschen ergeben sich, wenn vom angrenzenden Raum beim Türöffnen zuviel Helligkeit »eingekoppelt« wird. Im einfachsten Fall muß dann mit einer verschiebbaren Abdeckung gearbeitet werden, oder es ist eine Startverzögerungsschaltung notwendig, so daß nach dem Löschen genügend Zeit zum Schließen der Tür bleibt. Man kann auch die Abdeckung so mit der Tür koppeln, daß beim Verlassen des Raumes das Licht automatisch verlischt.

3.3. Stetig reagierender Dämmerungsschalter

Diese Schaltung dürfte größere praktische Bedeutung haben. Ihre Einsatzmöglichkeiten sind vielseitig. Man kann wieder vom Grundaufbau nach Abschnitt 3.1. ausgehen, muß aber jetzt eine andere Anordnung zur Lampe wählen. Das Licht der zu steuernden Lampe darf nicht auf den Fotowiderstand fallen. Bei Austausch eines normalen Schalters gegen die Unterputzdose mit Thyristor ist die Anordnung jedoch meist ungünstig. Man benötigt dann eine Steuerleitung, die aber nach den Regeln der Lichtnetzinstallation ausgeführt und isoliert sein muß. Der Lampensteller selbst sollte außerdem weiterhin mit Einschalter ausgerüstet bleiben, damit die Lampe nicht während der gesamten Nacht leuchtet.

Es erscheint also sinnvoller, für den Aufbau einen isolierenden Behälter zu benutzen. Diese »Stellbox« ist dann lediglich an einem geeigneten Ort (Fenster, gegen Lampe abgeschattet) anzubringen. Mit abnehmender Außenhelligkeit nimmt die Helligkeit der angeschlossenen Lampe stetig zu und erreicht schließlich den mit dem Vorwiderstand (oder mit dem in der Schaltung unverändert belassenen Potentiometer) vorgewählten Endwert. Gegenüber früher üblichen Transistor-Dämmerungsschaltern geschieht dieser Übergang aber infolge der Eigenarten der Thyristorsteuerung ohne erhöhten Leistungsbedarf im »Stellglied«, und es lassen sich bei Netzspannung relaislos übliche Zimmerleuchten steuern.

Der Fotowiderstand ist bei dieser Schaltung parallel zum Kondensator der Zündschaltung zu legen; er arbeitet jetzt im unteren Zweig des auf diese Weise entstandenen Spannungsteilers (Bild 22). Solange er infolge größerer Außenhelligkeit genügend niederohmig ist, kommt kein Zünden zustande. Der Zündwinkel verändert sich in dem Maße, in dem der Fotowiderstand wegen sinkender Helligkeit einen höheren Widerstandswert annimmt.

Während diese Schaltung außer als automatisch einsetzende und stetig »nachführende« Zimmerbeleuchtung vor allem zum Einschalten von Treppen- und Außenlicht verwendet werden kann, sofern die Lampen am Wechselspannungsnetz liegen, ist ein Einsatz z. B. als Parklichtautomat nicht möglich. Bekanntlich erfolgt das Abschalten automatisch nach Aufheben der Zündbedingung (Steuerstrom) nach jeder Halbwelle, erfordert also Wechsel- bzw. pulsierende Gleichspannung. Beim Einbau des Fotowiderstands, z. B. in eine Stellbox, gelten sinngemäß die gleichen Bedingungen wie bei Bild 21.

3.4. Treppenlichtautomat mit stetig abnehmender Helligkeit

Eine große Gefahrenquelle können Treppenlichtautomaten sein, die schlagartig abschalten. Man bedenke, daß in größeren Häusern oft das Licht durch den ersten Benutzer eingeschaltet wird und damit die vorbestimmten (im allgemeinen) 3 min leuchtet. Beim nächsten, der die Treppe betritt, verlischt die Lampe jedoch unter Umständen mitten im Schritt (nur moderne Anlagen signalisieren z. B. mit Glimmlampen das bevorstehende Verlöschen). Wenn es der Automatentyp nicht gestattet, durch einen weiteren Knopfdruck einen neuen 3-min-Zyklus einzuleiten, bleibt als Ausweg eine Schaltung, bei der das Licht am Ende des Einschaltbereichs nicht schlagartig, sondern allmählich ausgeht. Man erreicht dann rechtzeitig den nächsten Schalter. Eine dafür geeignete Thyristorschaltung hat 2 Aufgaben; zum einen, gegen Ende der etwa 3 min Hellzeit durch abnehmende Helligkeit zur neuen »Eingabe« zu »mahnen«, und zum anderen die Übernahme der Zeitfunktion des nun überflüssigen elektromechanischen Automaten, also wenigstens 2 min helles Licht vor Einsetzen der Übergangsphase. Bei dieser Schaltung ist eine automatische Kondensatorentladung während der Hellzeit nicht möglich – im Gegenteil – die ständig unter Spannung stehende Schaltung wird durch die Eingabeart »C-Entladung« gestartet! Die erste Hellphase ergibt sich automatisch bei Inbetriebnahme, wenn der Stromkreis durch einen zweckmäßigerweise vorzusehenden Hauptschalter (und nach Wiedereinsetzen der Netzsicherungen) erstmals »gestartet« wird. In Bild 23a ist für die C-Entladung ein einfacher (nichtrastender) Druckknopf angedeutet. Er hat aber nur Sinn, wenn die Anlage bis zu den Eingabestellen Netzspannung führen darf bzw. wenn nur an einem Ort (z. B. unmittelbar am Thyristorsteller) geschaltet werden soll. In allen anderen Fällen empfiehlt sich die in Bild 23b dargestellte Impuls-Lichtkopplung, die mit Schwachstromleitungen und -tastern gesteuert wird.

Die Dimensionierung zu Bild 23a ergibt sich wie folgt: Die Darlington-Kombination benötigt einen bestimmten Eingangsstrom, um den Zündwinkel bis zum Grenzwert des Ansprechens der Thyristorschaltung zu verschieben, so daß die Lampe dunkel bleibt. Der Übergangsbereich bis zu diesem Augenblick ergibt sich aus der Aufladung von C_B (im Bild 470 μF). Er muß in der 1. Phase so weit geladen werden, daß seine Spannung über die Basis-Emitter-Schwellspannung des Darlington-Eingangs steigt. Das sind mindestens $2 \times 0{,}5$ V. Bis dahin wird die Thyristorschaltung noch gar nicht beeinflußt. Durch den hohen Basisvorwiderstand fließt danach zunächst nur ein sehr kleiner Basisstrom, der den Zündwinkel nur wenig verschiebt. Der Strom im Widerstand von C_B teilt sich nun also zunehmend auf in den (sinkenden) Ladestrom für C_B und in den (wachsenden) Basisstrom der Darlington-Kombination. Der Grenzwert ist erreicht, wenn (bis auf den geringen Reststrom von C_B) der gesamte Strom in die Basis fließt. Dieser Strom – festgelegt durch beide Widerstände – muß ausreichen, die gewünschte Abschaltung hervorzurufen. In Abhängigkeit von den Transistordaten wird man u. U. zu anderen Grenzwerten gelangen. Die Schaltungswerte gelten für eine Kombination aus den Stromverstärkungsgruppen C und D. Erreicht wurden dabei mit $C_{B_{ges}} \approx 300$ μF (Nennwert) 2 min Hellzeit plus 0,5 min Übergangszeit; mit $C_B \approx 47$ μF (Nennwert) 30 s Hellzeit plus 20 s Übergangszeit. Der Hinweis auf »Nennwert« ist wichtig, da Elektrolytkondensatoren beträchtlich höhere Kapazitäten als die aufgedruckten haben können, aber auch bisweilen niedrigere. Das hat aber für eine solche Anwendung keine entscheidende Bedeutung.

Die Verzögerungsschaltung liegt übrigens an der Grenze der mit Elektrolytkondensatoren bei derart hohen Widerständen realisierbaren Werte. Dafür ist der exemplar- und betriebszeitabhängige Leckstrom verantwortlich. (Der Leckstrom verringert sich bei längerer Zeit anliegender Spannung.) Man muß bezüglich seiner Wirkung 2 Grenzfälle unterscheiden: Ist er zu hoch, dann wird die Eingangsspannung über den Vorwiderstand und den Leckwiderstand so weit geteilt, daß man den Vorwiderstand verringern muß, damit die Darlington-Kombination anspricht. Hat er sehr niedrige Werte, so lädt sich der Kondensator bis auf den von den beiden ohmschen Widerständen – zusammen mit dem Transistoreingang als Teiler betrachtet – bestimmten Bruchteil der Eingangsspannung auf. Je nach diesem Teilerverhältnis (das wiederum, wie die beschriebene Dimensionierung zu Bild 23a zeigt, variieren kann) liegt die Spannung am zeitbestimmenden C u. U. über 16 V, also über seiner Nennspannung. Sicherheit gegen solche Effekte bringt bei Bedarf der Einsatz einer Z-Diode zwischen etwa 6 und 12 V. Für die vereinfachte Schaltung nach Bild 23c ist diese Maßnahme nicht erforderlich, sofern das Verhältnis 1 MΩ/150 kΩ nicht wesentlich verändert wird.

Zum Lichtkoppler: Die Vorteile dieses vollelektronischen Zeitschalters kommen erst durch die netzpotentialfreie Schwachstromeingabe vollständig zur Geltung. Da nur ein Schaltimpuls gebraucht wird, um die Lampenschaltung zu »zünden«, treten im Lichtkoppler keine Temperaturprobleme auf, so daß die Einheit beliebig klein werden kann, nur von Lampe und Fotowiderstand abhängig. Auf jeden Fall ist eine zuverlässige, völlige Abdunkelung des Kopplers gegen Außenlicht erforderlich!

Die Kombination von Zeitschaltung und Lichtkoppler ist in Bild 23b dargestellt. Leider sind Fotowiderstände auch bei völliger Dunkelheit meist nicht so hochohmig, daß sich nicht in der Schaltung nach Bild 23a ein erheblicher Teilerstrom ergäbe, der die Funktion in Frage stellt, wenn der Fotowiderstand einfach statt der Taste angebracht würde. Diese negative Nebenwirkung wird daher durch einen Transistor »entkoppelt«, dessen Basisteiler sicherstellt, daß der Dunkelstrom des Fotowiderstands über dem Basis-Parallel-Widerstand nur eine weit unter der Basis-Emitter-Schwellspannung liegende Spannung abfallen läßt. Der Vorwiderstand begrenzt den Maximalstrom auf einen für den Fotowiderstand ungefährlichen Wert (typenabhängig). Außerdem hat er die wichtige Aufgabe, den (nur für die Dauer der Tastenbetätigung fließenden) Strom so klein zu halten, daß die Spannung für den Zündkreis (positive Teilerspannung) für diese Zeitdauer nicht zusammenbricht. Gegebenenfalls R_V und Basis-Parallel-R weiter erhöhen! Bild 23c gibt die Gesamtschaltung des Treppenlichtautomaten einschließlich Schwachstromversorgung der Lampen des Lichtkopplers über einen Klingeltransformator wieder. Bild 23d zeigt einen Vorschlag für den Lichtkoppler. Das Muster dieses vollelektronischen Treppenlichtautomaten hat eine Hellzeit von etwa 3 min und verändert vom Ende der 2. min an die Helligkeit stetig bis 0. Im übrigen ist der Wert des Vorwiderstands zum Zündkondensator wiederum so einzustellen, daß er oberhalb des Wertes bleibt, bei dem die Lampe (»jenseits« der vollen Helligkeit) wieder verlöschen würde.

3.5. »Lampenkopf« für Lichtorgel

Von den Frequenzen einer Musikdarbietung gesteuerte Beleuchtungseffekte erfreuen sich großer Beliebtheit. Problematisch ist dabei der Übergang von der Steuerschaltung zu den Lampen, wenn diese direkt vom Netz betrieben werden sollen. Die Anwendung nach Abschnitt 3.2. bietet dafür eine »saubere« Lösung. Man bedient sich dabei einer Lichtkopplung, d. h. eines optoelektronischen Kopplers. Im 2. Teil der electronica-Broschüre »Amateurelektronik 75« (erschienen August 1975, vgl. auch »Elektronikbasteln im Wohnbereich«, erscheint 1981) wird eine einfache Lichtorgelschaltung für Niederspannung vorgestellt, die in ihrer Grundform lediglich in 3 Lampen 3,8/0,07 endet. Diese Lampen reichen als Geber für das Zünden der Leistungskreise völlig aus. Die Anlage wird dadurch am günstigsten nach Bild 24 ausgelegt, d. h.: Das steuernde elektroakustische Gerät (z. B. Kasettenrecorder, Plattenspieler oder Rundfunkempfänger) und die Filter- und Verstärkerschaltung der Lichtorgel bis zu den 3 Lampenausgängen werden an dem für die Bedienung günstigsten Ort angebracht. Von da aus verlaufen 3 2adrige Schwachstromleitungen (z. B. Lautsprecherkabel) zu den »Lampenköpfen«. Diese können die Form entsprechend Abschnitt 3.2., modifiziert nach Bild 21, haben. Auf die Öffnung für den Fotowiderstand setzt man nun jedoch die steuernde Kleinglühlampe, z. B. in der Weise, wie sie aus Bild 25 hervorgeht.

Gegen Fremdlicht muß in diesem Fall sorgfältig abgedichtet werden. Übrigens: Diese »Lichtkoppler«-Anordnung ist ausgezeichnet zur Schwachstromsteuerung von beliebigen Leuchten geeignet!

3.6. Berührungsfreie Transformatorkopplung

Ähnlich ungefährlich wie nach 3.5. läßt sich eine Thyristorschaltung in geschlossenem Gehäuse gemäß Bild 26 zünden. Auf Dimensionierungsangaben sei verzichtet; die Schaltung ist daher als Anregung zu betrachten. Der Zündimpuls wird durch die 2. Hälfte eines Schalen- oder EE-Kerns angekoppelt, dessen 1. Hälfte in der Thyristorbox montiert wurde. Für den Wicklungsträger verwendet man 2 2-Kammer-Körper, von denen jeweils nur 1 Hälfte benutzt wird. Die äußere Transformatorhälfte kann angeklebt oder auf eine geeignete Halterung aufgesteckt werden. Für diese wie auch für die Variante nach 3.5. dürften sich viele Anwendungsmöglichkeiten ergeben.

4. Triacschaltungen

Triacs, in der sowjetischen Literatur auch als »Symistoren« bezeichnet, sind – wie dieser Name andeuten soll – von Aufbau und Wirkung her symmetrische Thyristoren. Ein solches Bauelement ist also auch ohne eine Graetz-Brücke in der Lage, in beiden Halbwellen der anliegenden Wechselspannung zu leiten, wenn man die Zündbedingungen dafür einhält. Die Steuerelektrode ist entsprechend für beide Halbwellen empfindlich. Leider wird die Symmetriebedingung oft nicht 100prozentig erfüllt. Das führt dazu, daß beim Versuch, solche Triacs als Lampensteller einzusetzen, von 0 aus zunächst die 1. und erst bei einem anderen Zündwinkel die 2. Halbwelle durchgeschaltet wird. Daher kann die Lampe in einem gewissen Übergangsbereich zwischen kleiner und großer Helligkeit flimmern.

Bild 27 zeigt dafür einen Ausweg. Mit den beiden antiparallel geschalteten Dioden-Widerstands-Gliedern gleicht man bei kleiner Helligkeitseinstellung so ab, daß beide Halbwellen gleichmäßig zünden. Das läßt sich zwar am besten mit einem Oszillografen beobachten, doch ist es auch mit folgender Hilfsschaltung möglich: 2 Lampen gleicher Leistung, z. B. je 25 W, werden mit je 1 Diode antiparallel geschaltet. Nun läßt sich leicht erkennen bzw. an den Stellwiderständen abgleichen, wann bereits bei kleinen Helligkeitswerten beide Halbwellen geschaltet werden. In Bild 27 fällt außerdem die doppelte Kondensatorbeschaltung auf. Das ist eine Maßnahme, die – ebenfalls wieder im Bereich kleinerer Helligkeiten – Flackereffekte unterdrückt (Flackern zeigt an, daß der Triac nicht in jeder Periode zündet). Schließlich sei auf das Zündelement aufmerksam gemacht, das statt der 2-Transistor-Schaltung bei Thyristorstellern eingesetzt wurde. Diese Spezialdiode, »Diac« genannt, hat eine symmetrische Kennlinie. Sie bricht (»kontrolliert«) jeweils bei – typenabhängig – etwa +30 V bzw. −30 V durch und zündet damit den Triac, wie gewünscht, in beiden Richtungen. Dieses Bauelement steht ebenfalls nur aus RGW-Importen zur Verfügung (ČSSR). Bei näherer Betrachtung der Ansteuerung mit Symmetriergliedern zeigt sich, daß dadurch prinzipiell auch die 2-Transistor-Lösung eingesetzt werden kann, allerdings eben 2mal.

Die beiden Zweige sind mit den Dioden so zu verknüpfen, daß die Transistoren jeweils nur die für sie zulässige Polarität erhalten. Gemessen am Aufwand, ist allerdings der Diac dieser Lösung weit überlegen.

Ihre eigentliche Bedeutung haben Triacs im Wohnbereich als Schalter, die in der Lage sind, u. U. recht hohe Ströme bei Netzspannung zu schalten. Man versucht mit entsprechender Ansteuerung dabei sogar, möglichst in der Nähe des Nulldurchgangs der anliegenden Spannung zu schalten. Das bedeutet sowohl kleine Schaltbeanspruchung (man denke an den Kaltstromstoß von Glühlampen oder an den Einschaltstrom von Motoren) als auch kleinstmögliche Störungen auf dem Netz durch Schaltimpulse, die ja z. B. die Phasenanschnittsteuerung problematisch machen. Auf diesem Gebiet ist also der Triac ein Bauelement, das die »Fortsetzung des Leistungsrelais in den Netzspannungsbereich hinein« darstellt. Neben der hier im Vordergrund stehenden Anwendung, Lampen größerer Leistung (z. B. ganze Kronleuchter) beliebig in »Fernwirktechnik« zu schalten, ist der Triac ein für Motoren günstiger Leistungsschalter, etwa in elektronischen Thermostaten für Kühlschränke, aber auch für Heizungsanlagen u. ä.

Triacs stehen leider derzeit nur aus Importen, für den Amateur also nicht kontinuierlich, zur Verfügung. Ein typischer Vertreter ist der TC 10-4, d. h. für 10 A Arbeitsstrom und 400 V Höchstspannung. Bild 28 zeigt skizzenhaft eine typische Anwendung als in jeder Halbwelle von einem Steuerwiderstand bereits bei wenigen Volt gezündeter Leistungsschalter.

Für diesen Steuerwiderstand kommen nun die unterschiedlichsten Steuermechanismen in Betracht. Wichtig ist dabei, daß auch im nichtgezündeten Zustand an diesem Widerstand die Netzspannung liegt. Es ist also z. B. nicht möglich, ihn einfach durch einen Fotowiderstand zu ersetzen, denn dieser hält meist wesentlich weniger Spannung aus. Gerade an ihm würde aber im Dunkelfall (wenn also der Triac wegen des dann hochohmigen Widerstands mit Sicherheit nicht gezündet wird) die volle Netzspannung liegen.

5. Automatische Lichtschalter für Kleinspannung

5.1. Automatiklampe mit stetig abnehmender Helligkeit

Diese Lampe vermeidet den plötzlichen Hell-Dunkel-Übergang beim Schlafengehen, der vor allem für Kinder problematisch sein kann.

Bei Knopfdruck auf Ta 1 (Bild 29) lädt sich C1 über R1, und die Lampe beginnt zu leuchten. Je größer R1 und je kürzer man drückt, um so schneller verlischt sie danach wieder. Dieser Vorgang verläuft stetig mit am Ende rasch abnehmender Helligkeit. Vor Ablauf einer Minute nach Verlöschen der Lampe fließt in der Schaltung nur noch ein Strom in der Größenordnung von 100 μA, so daß tatsächlich kein mechanischer Ausschalter nötig ist.

Die Schaltung beruht auf dem Prinzip der Kondensator-Auf- und -Entladung: Nach der Zeit C1R1 (Zeitkonstante $\tau 1$) ist C1 auf etwa 63 % der Batteriespannung aufgeladen, nach 2 $\tau 1$ auf 86 % und nach 3τ auf 95 % (e-Funktion!). Entladen wird über R2 und die Parallelschaltung von R3 mit dem (relativ hochohmigen) Eingang des Transistorverstärkers, also wesentlich langsamer. (Exakt erreicht durch die Teilung zwischen R1 und diesen Widerständen der Kondensator auch nie genau die Batteriespannung!) Solange die Spannung am Transistorverstärkereingang über etwa 0,6 V bleibt, der Eingangsschwellspannung der eingangsseitig in Serie geschalteten beiden Germaniumtransistoren T1 und T2, fließt ein Steuerstrom von einigen Mikroampere in den Eingang. T1 bis T3 verstärken ihn so weit, daß die Lampe leuchtet. Die Bauelementetoleranzen erlauben nur eine Abschätzung der zu erwartenden Zeiten. $\tau 1$ z. B. liegt bei 20 s, wenn R 1 = 10 kΩ und C1 = 2000 μF. Ein geladener C1 bringt bei der Schaltungsdimensionierung nach Bild 29 etwa 15 bis 30 min Helligkeit. Kleineres R3 oder R2 ergibt schnelleres Abschalten. Alle Transistoren sollen möglichst kleine Restströme I_{CEO} haben (Kollektorstrom bei »offener« Basis). Siliziumtransistoren erfüllen diese Forderungen (hier geeignet: pnp-Typ

KF 517, KT 3107 oder KT 326); ihre Eingangsschwellspannung ist aber wesentlich höher (Serienschaltung der Eingänge hat dann etwa 1,2 V Gesamtschwellspannung). Im Bild 29 wurden teils aus diesem Grunde die außerdem oft noch sehr preisgünstig erhältlichen sowjetischen pnp-Germanium-HF-Transistoren ГТ 322 benutzt, die meist recht niedrige Restströme (bis 50 μA) haben. I_{CEO} steigt aber mit der Temperatur, daher Lampe von ihnen fernhalten! T3 ist ein Silizium-npn-Transistor, z. B. SF 126. Die Stromverstärkung der Transistoren soll zwischen 50 und 100 liegen. In der Schaltung sind gegen die Reststromauswirkungen Ableitwiderstände vorgesehen, die eine Fehlsteuerung der Lampe verhindern. R7 z. B. muß so klein sein, daß sein Produkt mit dem von T1 und T2 stammenden Reststrom (T2 verstärkt den von T1!) weniger als 0,5 V bei Betriebstemperatur ergibt, sonst leitet T3 ständig! Eine Kontrollmessung des bei entladenem C1 fließenden Batteriestroms ist daher sinnvoll, wenn nicht überall Siliziumtransistoren benutzt werden.

Die beiden Dioden der Gesamtschaltung nach Bild 30 halten die Ladespannung unter 3 V, wenn für C1 eine 3-V-Ausführung eingesetzt wird. Mit Ta 2 kann vorzeitig abgeschaltet werden. Die Leiterplatte im Format von 35 mm × 50 mm ist nach Bild 31 zu bestücken. Das Format hat bei dieser Anwendung den Vorteil, daß es zusammen mit 2 RZP 2-Kleinakkumulatoren eine relativ kompakte Einheit ergibt, die z. B. in einem kleinen Plastbehälter untergebracht werden kann. Statt der beiden bei entsprechender Sachkenntnis (kleiner Ladestrom von z. B. 20 mA, auf etwa 2,25 V begrenzte Ladespannung gegen Bauchbildung) einige Male wiederaufladbaren Akkumulatoren kann auch eine einfache Flachbatterie benutzt werden.

Dem Vorteil der Mobilität dieser Lampe stehen – auch bei einigen Nachladungen – doch merkliche Betriebskosten gegenüber, besonders, wenn der Schalter dem Kind zugänglich ist. Rechnet man nur 2 Einschaltzyklen je Abend, so sind das – je nach realer Kapazität – zwischen 0,5 und 1 h je Abend oder eine Ladung je Woche. Bei ständigem Einsatz sollte man daher diese Schaltung mit Kleinspannung aus einem schutzisolierten Transformator betreiben, wie das auch bei der folgenden Lösung geschah.

5.2. Sensorgeschaltete Lampe

Eine kleine Orientierungslampe über oder neben dem Bett, mit einer stets schwach leuchtenden Markierung neben dem Einschalter, gibt Kindern ein gewisses Sicherheitsgefühl. Je nach Ausführung und Spannungsquelle kann eine solche Leuchte auch Leselampe sein. Gespeist wird das Ganze aus einem etwas höher belastbaren Klingeltransformator (6 V/1A) oder aus einem anderen garantiert berührungssicheren, netzspannungsfesten Typ. Damit bestehen keine besonderen Forderungen an einen »stromarmen« Bereitschaftsbetrieb, denn auch die benutzte TTL-Schaltung braucht nicht einmal 1 W Dauerleistung! Die Lampe enthält 2 Sensor-Elektrodenpaare. Im Muster wurden in eine gut isolierende Polystyrolplatte, die die Leiterplatte und den Lampenteil trägt, 2mal 2 Drahtstückchen parallel zueinander in etwa 2 mm Abstand thermisch eingedrückt. Die »Aus«-Elektroden liegen räumlich unter der Lampe, die für das Einschalten vorgesehenen sind durch eine dicht darüber in die Polystyrolplatte eingelassene Leuchtdiode gut erkennbar ständig markiert. Nur während der Leuchtzeiten der Lampe ist die Leuchtdiode dunkel.

Herz der Lampenelektronik ist nach Bild 32 ein bistabiler Multivibrator (»Flip-Flop«, »Trigger«). Er besteht aus 2 Gattern eines Schaltkreises D 110 oder D bzw. P 210. Die beiden Gatter sind über Kreuz gekoppelt. Dadurch hält der Ausgang, der jeweils auf niedrigem Potential (Low, L) liegt, über den einen Eingang des anderen Gatters dessen Ausgang auf »Hoch« (High, H). Solange dessen anderer Eingang ebenfalls H hat, bleibt dieser Zustand erhalten. Die beiden nichtgekoppelten Eingänge sind mit den Kollektoren von 2 Miniplasttransistoren verbunden (möglichst SS 216 oder anderer Epitaxie-Planar-Typ, allerdings funktionieren bei den kleinen Schaltströmen meist auch Planartypen wie SC 206, SF 215 usw., z. B. untypisiert preiswert erhältlich). Vom undefinierten Anfangszustand beim Einschalten abgesehen, kann nun jeder dieser Transistoren den Eingang des eingangsseitig gerade »Hoch« liegenden Gatters auf Low ziehen, wenn er genügend Basisstrom erhält. Der Kollektorstrom, der dabei aus dem Gatterausgang durch den Transistor fließt, beträgt nicht mehr als etwa 1,6 mA. Bei einer Stromverstärkung von z. B. 200 genügen also weniger als 10 μA Basisstrom. Sie fließen über den Hautwiderstand

des Fingers, der beim Schalten als Brücke zwischen Plus und Basis (über einen Schutzwiderstand) wirkt. Günstig ist eine gewisse Übersteuerung, also ein kleiner Hautwiderstand, um auf eine Kollektorspannung von weniger als 0,8 V – die L-Bedingung des Gatters – zu kommen. Das funktioniert bei entsprechender Transistorstromverstärkung schon, wenn der Hautwiderstand noch mehr als 100 kΩ aufweist. (Das Muster sprach bis etwa 300 kΩ an.) Wohl kaum ein Kind hat trockenere Hände. Allerdings darf man die Trennfläche auch nicht gerade naß werden lassen, denn dann weiß die Elektronik nicht mehr, was gemeint ist! Um die Flip-Flop-Funktion nicht zu stören, wird der Trigger durch das 3. Gatter des Schaltkreises vom Schalttransistorteil entkoppelt. Der Schalttransistor, der von einem Silizium-npn-Transistor angesteuert wird, ist ein ebenfalls preiswerter Basteltyp der GD-Reihe (Germanium, pnp), die 3 A Kollektorstrom aushalten. Der geschaltete Lampenstrom sollte also nicht mehr als etwa 0,5 A betragen, doch läßt sich die Einschaltspitze durch entsprechende Wahl der Vorwiderstände auch noch bei einer 6 V/5 W-Lampe unter dem kritischen Wert halten. Das Muster arbeitet mit dieser Lampe, die für den gewünschten Zweck völlig ausreicht. Wer mehr Leistung schalten will, benutzt ein Relais mit wenigstens 100 Ω Wicklungswiderstand statt der Lampe. Wegen des TTL-Schaltkreises ist eine Stabilisierung der Betriebsspannung (natürlich außer Lampenkreis!) erforderlich. Sie wird nur »im Dunklen« voll wirksam, wenn nämlich die Kondensator-Ladespannung im Netzteil erheblich über 6 V ansteigt. Bei heller Lampe wirkt praktisch nur noch der Schaltkreisstrom (sofern der »Knick« der Z-Diode scharf genug ist) und verringert infolge des Vorwiderstands die Betriebsspannung real wesentlich unter 5 V. In der vorliegenden Anwendung stellt jedoch ein leichtes Unterschreiten der vorgegebenen TTL-Mindestspannung (4,75 V) die Funktion noch nicht in Frage. Bei Einsatz eines anderen Transformatortyps überprüfe man jedoch durch Messungen bei hell und dunkel, ob eine Wertekorrektur erforderlich wird. Dazu einige Empfehlungen, die allerdings wenigstens ein einfaches Gleichspannungsvoltmeter nach Art des »Multiprüfers« o. ä. voraussetzen: Zunächst wird die Netzanschlußeinheit nach Bild 33 aufgebaut. Das heißt, man läßt die Primärseite des Klingeltransformators von einem Sachkundigen mit einer Netzanschlußschnur mit Stecker versehen und schließt sekundär die Gleichrichterbrücke mit Ladekondensator an. Für diese Einheit ist nicht unbedingt eine Leiterplatte nötig; Bild 34 enthält aber einen Vorschlag dazu. Nun wird der Transformator ans Netz angeschlossen, und am Kondensator mißt man die Spannung. Sie wird erheblich über 6 V liegen, z. B. bei 11 V. Jetzt schließt man die später benutzte Lampe an. Die Spannung sinkt daraufhin stark ab, z. B. auf 6,5 V. Zwar ist die Lampe für 6 V Nennspannung vorgesehen, doch wird später am Schalttransistor ohnehin noch eine Spannung in der Größenordnung von 0,2 V bis 0,3 V übrigbleiben. Sollten allerdings an der Lampe noch wesentlich mehr als 6,5 V bleiben, dann ist ein Vorwiderstand nötig.

Die bereits aufgebaute Schaltelektronik-Leiterplatte wird nun mit Lampe und Spannungsquelle verbunden. Dann mißt man die an der Z-Diode auftretende Spannung in beiden Betriebszuständen (also Lampe hell und Lampe dunkel). Eventuell Finger leicht anfeuchten, wenn es Schaltschwierigkeiten geben sollte. Liegt die Spannung an der Z-Diode bei heller Lampe unter 4,5 V (also sicher gesperrte Z-Diode), so errechnet man aus der Differenz von Betriebs- und Z-Spannung, dividiert durch 150 Ω, den für den Schaltkreis tatsächlich nötigen Strom (denn dabei gibt es exemplarabhängige Unterschiede).

Nun wird der Vorwiderstand entsprechend verringert: $R_v \approx \frac{U_B - 4{,}7\ \mathrm{V}}{I_S}$ (U_B = Spannung der Quelle bei heller Lampe; I_S = Schaltkreisstrom in mA, dann R_v in kΩ).

Der neue Widerstand wird eingesetzt; anschließend kontrolliert man die Spannungsverhältnisse. Die Z-Diode ist nicht überfordert, solange durch sie bei dunkler Lampe, also höchster Eingangsspannung, nicht mehr als etwa 40 mA fließen. Das bedeutet $(U_B - U_Z) \approx 0{,}045 \cdot R_v$, wenn mit einem durchschnittlichen Schaltkreisstrom von 5 mA gerechnet und R_v in Ohm eingesetzt wird. Bei höherer »Dunkel«-Betriebsspannung U_B ist also u. U. sogar eine Erhöhung von R_v nötig. Die Leiterplatte der Schaltelektronik hat wieder das Format 35 mm × 50 mm und wird nach Bild 35 bestückt.

5.3. Blitzlicht-Lichtschalter

Wird eine Hilfsgleichspannung von z. B. 12 V bereitgestellt, wie sie sich u. a. aus den Steuerkreisen moderner Wohnungen entnehmen läßt, so kann ein Lichtstromkreis auch durch ein batteriegespeistes Blitzgerät eingeschaltet werden. Solche kleinen handlichen Geräte mit Nickel-Cadmium- oder auch R6-Zellenspeisung sind handelsüblich; man kann sie sich nach entsprechenden Bauanleitungen auch selbst herstellen. In der Schaltung nach Bild 36 wurde auf Netzbetrieb verzichtet. Durch den Einsatz einer genügend belastbaren Gleichspannung von 12 V entfallen alle weiteren Maßnahmen, wie sie sonst nötig wären, um den Thyristor nach jedem Nulldurchgang der Spannung neu zu zünden. Typische Anwendung einer solchen Anordnung: Kellerraum oder Geräteschuppen ohne Netzanschluß; Einsatz eines 12-V-Akkumulators als Stromquelle.

Die Schaltung hat eine bei genauerer Betrachtung interessante Eigenschaft: Sie läßt sich selbst bei relativ hellem Umgebungslicht noch starten, d. h., man kann mit ihr auch andere Vorgänge fernsteuern. Das funktioniert so lange, wie der Fototransistor durch das Umgebungslicht noch nicht gesättigt ist, denn gezündet wird durch einen von der RC-Kopplung übertragenen Impuls, der beim Auftreffen des Lichtblitzes entsteht. Bei Bedarf kann durch die im Bild angedeutete Maßnahme angezeigt werden, ab wann kein Zündimpuls mehr übertragen wird (einmalig durch Messung oder Versuch einstellen; LED leuchtet im Sättigungsbereich). Gelöscht wird durch kurzes Unterbrechen des Hauptstromkreises nach dem üblichen Prinzip, daß man einen Einschalter in einem dunklen Raum zwar schwer findet, einen Ausschalter im Hellen dagegen leicht.

5.4. Ein-Aus-Taste für Thyristor im Gleichspannungsbetrieb

Dieser Einsatz ist vielleicht weniger für sich allein als in Verbindung mit automatischen Steuerschaltungen (z. B. nach Abschnitt 5.5. oder Abschnitt 5.6.) von Interesse, wenn Thyristoren Lasten in Gleichspannungskreisen ein- und ausschalten sollen. Bekanntlich läßt sich ein normaler Thyristor nicht einfach durch Öffnen des Steuerkreises löschen, sondern außerdem muß, wenigstens kurzzeitig, die Anodenspannung in etwa zu 0 werden, bzw. der durch den Thyristor fließende Strom muß kleiner als sein »Haltestrom« werden. Schaltet man daher von Anode nach Katode einen vorübergehenden Kurzschluß ein, so ist diese Forderung erfüllt, während ein Dauerkurzschluß praktisch den Laststrom aufrechterhalten würde. Einen kurzzeitigen Kurzschluß erreicht man mit einem Kondensator ausreichender Kapazität (Haltestrom muß einige Mikrosekunden unterschritten werden). Soll nun die Abschalttaste nicht in diesem Kreis liegen, der nach dem Abschalten Betriebsspannung führt, benutzt man einen 2. Thyristor. Allerdings muß seine Spannung in gezündetem Zustand genügend unter der des Hauptthyristors bleiben. Daher ist es günstig, im Sinne von Bild 37 den Lastkreis aufzuteilen. Das funktioniert einwandfrei. Der relativ hochohmige Widerstand parallel zum Lösch-C sorgt für genügend schnelle Entladung, also neue Löschbereitschaft, ist aber so groß, daß man nicht in die Größenordnung des Haltestroms für den Löschthyristor kommt. Als praktische Anwendung enthält Bild 37 bereits eine erprobte Ansteuerschaltung für 12-V-Betrieb von 2 6-V-Lampen, die bei erstmaligem (nicht all zu kurzem) Betätigen der nichtrastenden Taste die Lampen ein- und beim wenigstens 2 s späteren 2. Betätigen wieder ausschaltet. Dioden und Widerstände der Schaltung sorgen dafür, daß die Zeitkonstanten dabei genügend klein bleiben. Ausgenutzt wird die Tatsache, daß die Thyristoren nur einen sehr kurzen Zündimpuls brauchen.

5.5. Lichtgesteuerte Ein-Aus-Schalter

Für die Schaltung nach Bild 38 wurde das im Abschnitt 5.4. geschilderte Löschprinzip verwendet. Sie setzt allerdings voraus, daß 2 CMOS-Schaltkreise vorhanden sind, was heute leider beim Amateur meist noch nicht der Fall sein wird. Bisweilen erhält man jedoch schon Exemplare z. B. des sowjetischen K176 TW1. Er und auch das NOR K176 LE5 werden in Bild 38 nur je zur Hälfte ausgenutzt. CMOS-Schaltkreise sind bekanntlich empfindlich gegen statische Aufladung der Kleidung, sofern die entstehenden Ladungsenergien die Aufnahmefähigkeit der Eingangsschutzschaltungen der Gatter übersteigen. Praktisch muß man aber schon sehr sorglos sein, bevor wirklich etwas passiert. Mindestens muß

aber vermieden werden, daß die an den Eingängen auftretenden Spannungen die Betriebsspannung übersteigen. Die Empfindlichkeit gegen Ladungen ist die negative Seite der sonst überaus positiven Eigenschaften eines äußerst hochohmigen Eingangs (Größenordnung 10^{15} Ω als Richtwert). Das bedeutet leistungslose Steuerung. CMOS-Gatter schalten am Ausgang von nahezu voller Betriebsspannung auf fast 0 um, wenn am Eingang etwa die halbe Betriebsspannung erreicht wird. Die Zuordnung H-L oder L-H ist – wie allgemein gegeben – vom Gattertyp (invertierend oder nichtinvertierend) abhängig.

In Bild 38 genügt zum Umschalten des Schwellwertschalters an 2 NOR-Gliedern bereits die lichtabhängige hochohmige Spannungsteilung des 330-kΩ-Widerstands mit dem Fototransistor. Beleuchten des Transistors heißt Übergang H → L an Ein- und Ausgang und Rückkehr zum Zustand »Dunkel« entsprechend L → H. Das aber ist die Schaltflanke des als Frequenzteiler geschalteten JK-Flip-Flop aus $^1/_2$ K176 TW1. Q und $\bar{Q}$ wechseln in diesem Augenblick ihre Zustände (L bzw. H und umgekehrt). Beim 2. Dunkel-Hell-Dunkel-Sprung kehren sie in ihre Lage zurück. Das wird in Bild 38 dazu ausgenutzt, wechselweise Haupt- und Löschtransistor zu zünden. Praktisch gelingt es, den Fototransistor so anzuordnen, daß er auch bei eingeschalteten Lampen genügend dunkel bleibt. Eine gut gebündelte Taschenlampe schafft das Umschalten noch auf einige Meter Entfernung. Dabei stets daran denken: Nicht der auftretende Lichtstrahl, sondern erst sein Abschalten bewirkt den Schaltvorgang!

Für viele Anwendungen wird es genügen, mit einem Schalttransistor eine Lampe zu schalten. Ein Löschthyristor wird dann unnötig – die Lampe geht aus, wenn der Transistor keinen Steuerstrom erhält. Bild 39 zeigt eine an Bild 38 statt der Thyristoranordnung anschließbare Transistorkombination für eine Lampe bis zu 5 W bei 6-V-Betrieb. Die Komplementärschaltung stellt sicher, daß der Ruhestrom bei abgeschalteter Lampe nur wenige Mikroampere beträgt, abhängig von der den Fototransistor erreichenden Raumhelligkeit. (Sie darf natürlich noch nicht den kritischen Grenzwert für das Umschalten des Schwellwertschalters erreichen!)

5.6. Minutenbeleuchtung ohne Ruhestrombedarf

Setzt man wieder voraus, daß man einen CMOS-NOR-Schaltkreis mit mindestens 2 NOR-Gattern erhält, so läßt sich eine in der nötigen Kapazität äußerst anspruchslose Minutenbeleuchtung realisieren, die keinen Ruhestrombedarf hat. Bild 40 zeigt den Steuerteil. Die Taste leitet den Vorgang ein. Der vorher geladene Kondensator wird über den 1-kΩ-Sieb- und Schutzwiderstand in Bruchteilen einer Sekunde bis zur Schwellspannung der Diode entladen. Gleichzeitig zieht die Koppeldiode auch den Ausgang des Schwellwertschalters auf L, und der Ausgang verharrt auf L nach Loslassen der Taste, bis sich C wieder auf etwa U/2 geladen hat. Man kann also von Plus her einen pnp-Transistor für die von R_L und C festgelegte Zeit öffnen, z. B. innerhalb der Schaltung nach Bild 39. Man kann aber auch einen mit 100-Hz-Halbwellen hinter einer Graetz-Brücke liegenden Thyristor (durch den pulsierenden Gleichstrom selbstlöschend) für diese Zeit steuern (Bild 41) oder gar mit der vorderen Pulsflanke einen Aus-Thyristor im Sinne von Abschnitt 5.4. zünden (Bild 42). Es lohnt also jedenfalls zuzugreifen, wenn wieder einmal CMOS-IS im Handel auftauchen. Diese Schaltung kann damit sowohl vorteilhaft an einer beliebigen Gleichspannungsquelle von 6 bis 12 V (ggf. U für IS begrenzen) wie auch z. B. in Verbindung etwa mit einem »halogen 20«-Transformator für Wechselspannungs-Niederspannungsleuchten betrieben werden.

5.7. Dämmerungsschalter mit »Spartaste«

Ändert man die Schaltung nach Bild 40 im Eingang geringfügig, nämlich durch die Maßnahme gemäß Bild 43, so ergibt sich ein in bestimmter Hinsicht sparsamer Dämmerungsschalter: Er schaltet nicht zwangsläufig bei Einbruch der Dunkelheit ein, sondern erst bei Bedarf, wenn nämlich die Starttaste kurz gedrückt wird. Dann allerdings leuchtet er bis zum Morgen. Das hat zumindest den Spareffekt, daß z. B. bei Abwesenheit (Urlaub u. ä.) nicht dennoch jede Nacht eingeschaltet wird, nur, weil man das Abschalten der Anlagen vergessen hat.

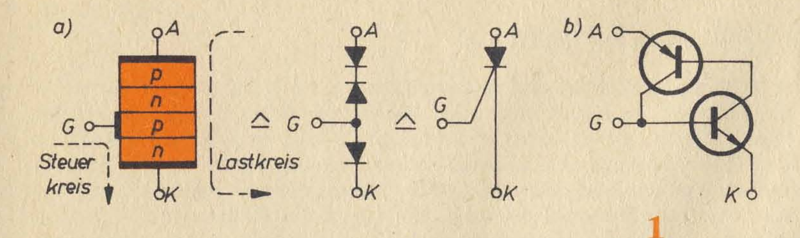
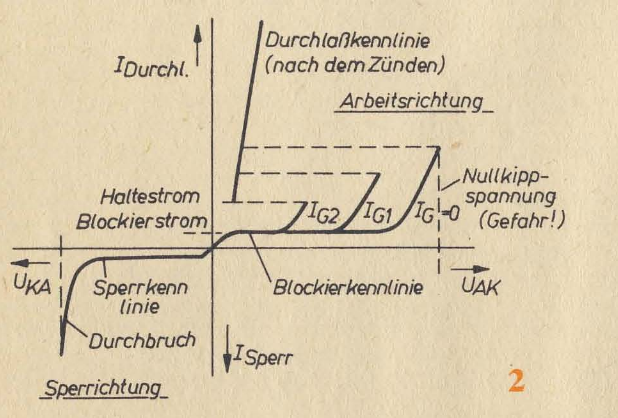
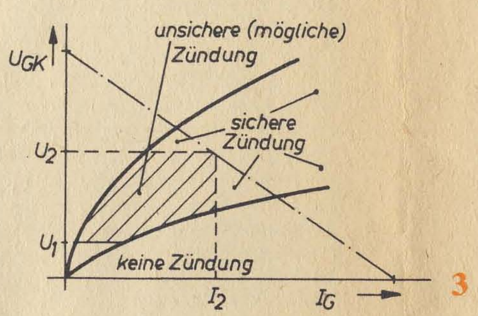


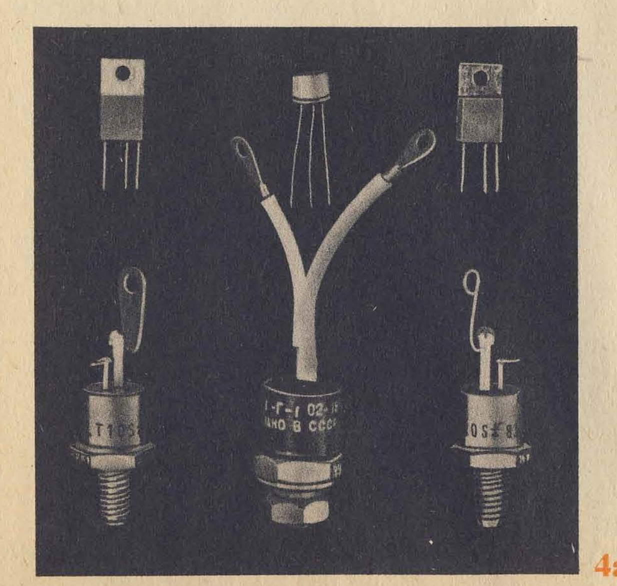


Bild 1
Thyristor; a – Zonenfolge und Anschlüsse, b – Nachbildung mit 2 komplementären Transistoren

Bild 2
Thyristorkennlinien mit den wichtigsten Begriffen







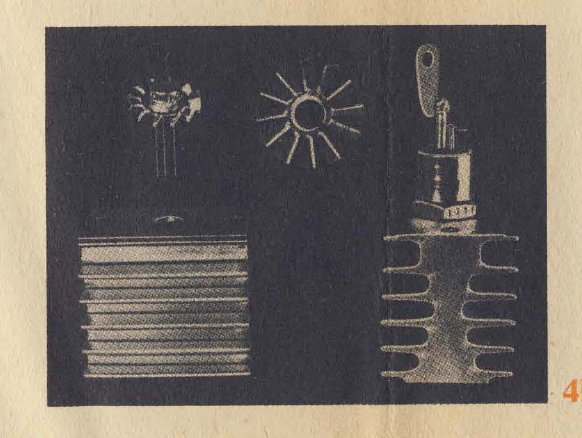
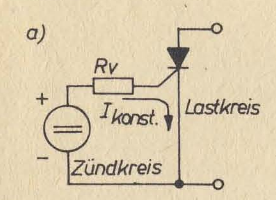


Bild 4
a – Thyristorbauformen, b – Kühlkörper



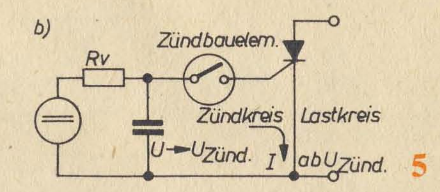
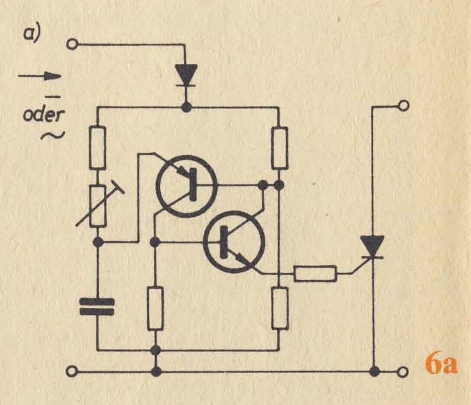
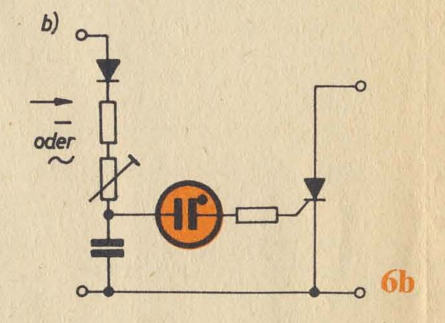


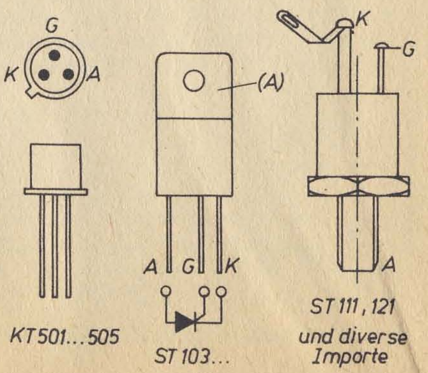
Bild 3
Streubereich der Eingangskennlinien eines Typs (Zündrichtung); U1: »Nicht-Zündspannung« (0,1 bis 0,5 V); U2, I2: Zündung aller Exemplare des Typs; strichpunktiert: »Mindestkennlinie« eines Zündgenerators für alle Exemplare des Typs (Verlauf durch U2/I2; Steigung – d. h. U_l oder I_k – wählbar)

Bild 5
a – Gleichstromzündung,
b – Impulszündung

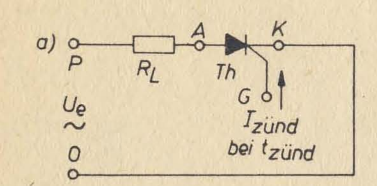
Bild 6
a – Transistor-Zündschaltung,
b – Zündung mit Glimmlampe

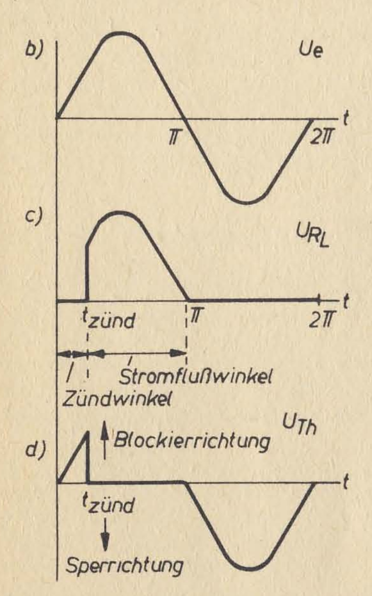


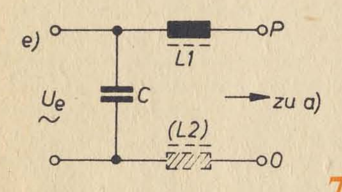




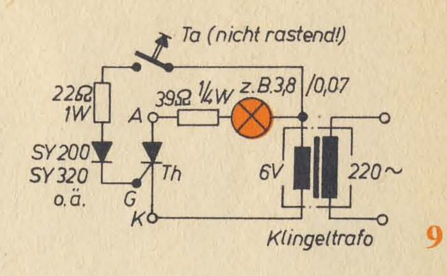




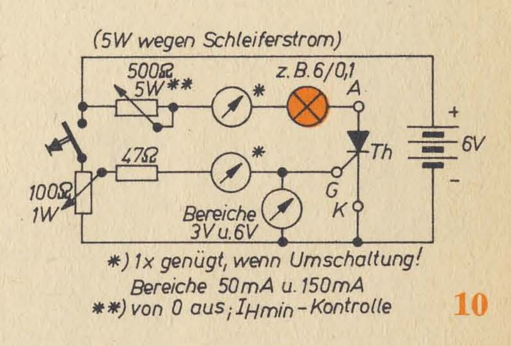




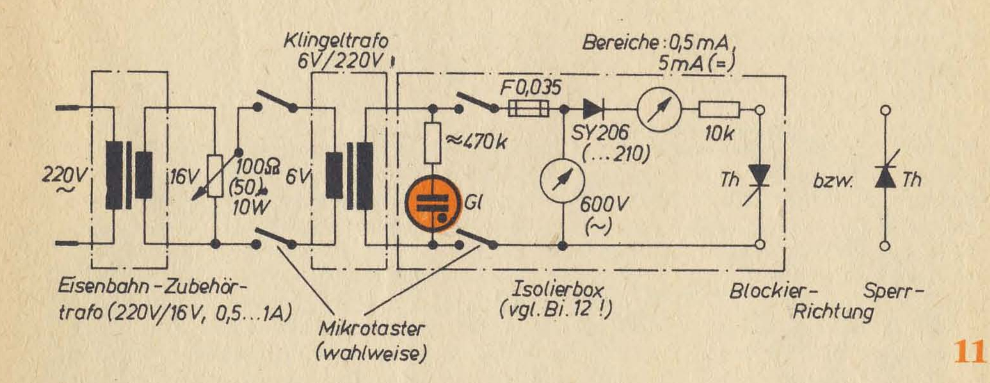
7



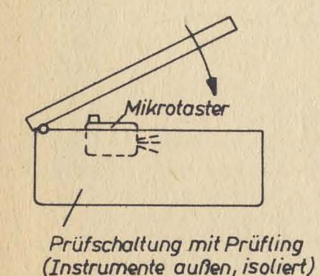
9



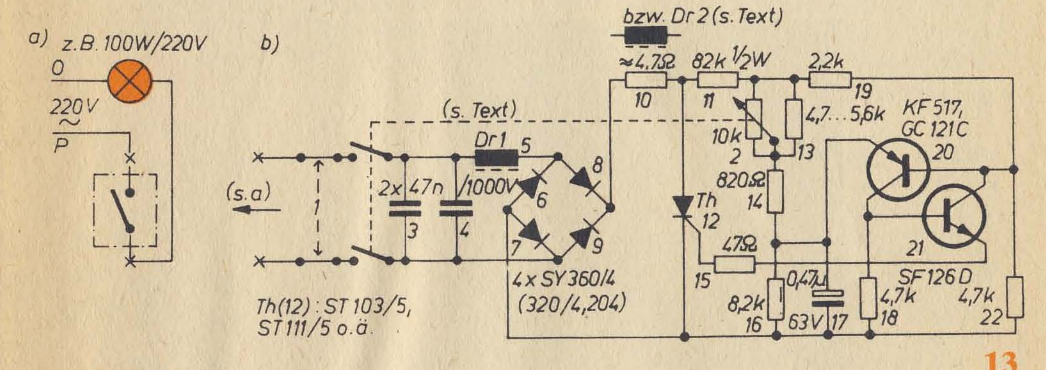
10



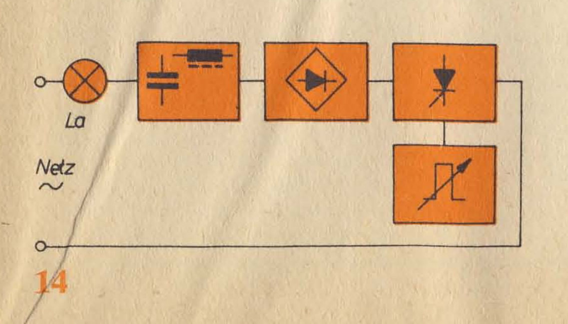
11



12



13



14

Bild 7
a – Thyristor mit ohmscher Last bei Wechselspannung, b – Eingangsspannung, c – Spannung über dem Lastwiderstand, d – Spannung über dem Thyristor, e – bei dieser »Phasenanschnittsteuerung« nötige Entstörkombination

Bild 8
Bauformen von in der DDR erhältlichen Thyristoren

Bild 9
Funktionsprüfung (Lampe leuchtet, solange Ta geschlossen wird)

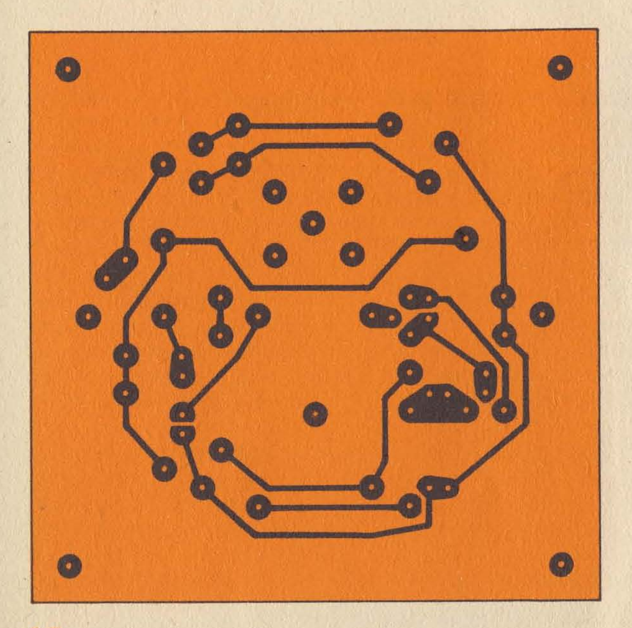
Bild 10
Messung der Zündmindestdaten (100-Ω-Potentiometer) und des Haltestroms (500-Ω-Potentiometer); beide Potentiometer jeweils von 0 an betätigen; Strommesser je nach Meßaufgabe einfügen

Bild 11
Sperr- und Blockierspannungstest; Hinweise beachten und sorgfältig aufbauen. Anordnung jeweils nur kurzzeitig bei mehr als 220 V Sekundärspannung betreiben

Bild 12
Box für Schaltung gemäß Bild 11 mit Einschaltern, die nur bei geschlossenem Deckel reagieren. Alle spannungführenden Leitungen und die außenliegenden Instrumente gut isolieren!

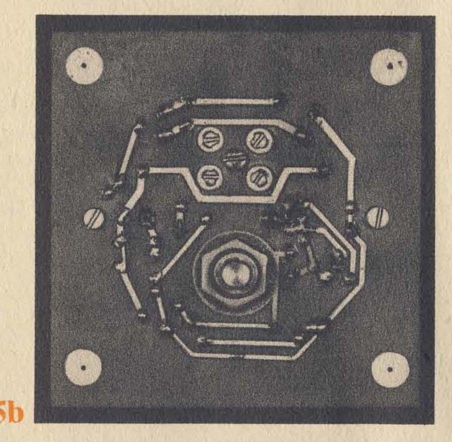
Bild 13
Thyristor-Lampensteller im »Vollwellenbetrieb«; der Brücken- oder Graetz-Gleichrichter stellt positive Halbwellen zur Verfügung, die vom Thyristor geschaltet und dem Lastwiderstand zugeführt werden.
a – ursprünglicher Lampenkreis,
b – diese Schaltung wird statt des Lichtschalters in die Schalterdose eingebaut. Nr. 10 ist 4,7 Ω (nicht verwechseln!); Nr. 15 ist 47 Ω

Bild 14
Funktionsgruppen des Vollwellen-Lampenstellers



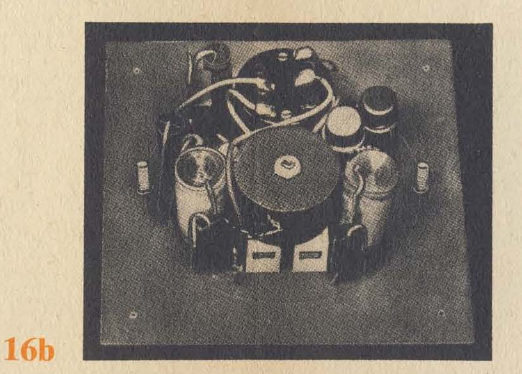
15a



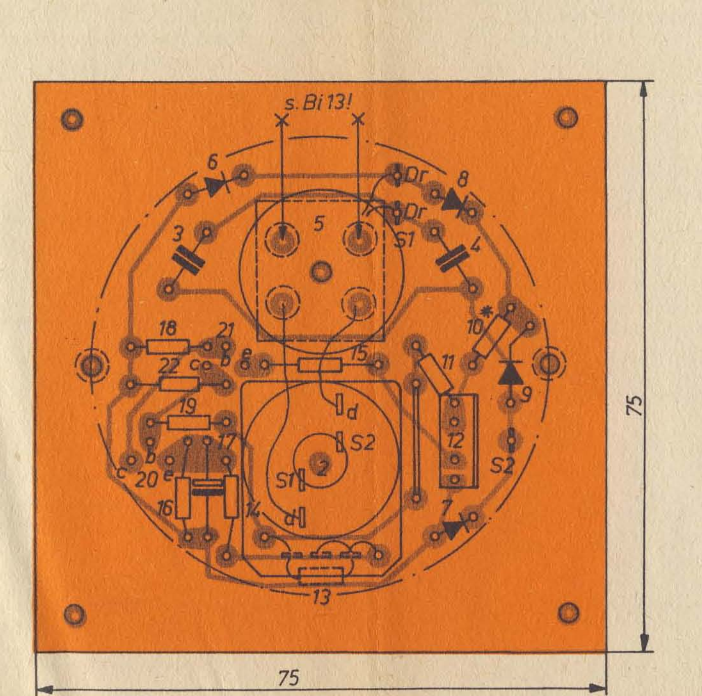


15b

Bild 15
a – Leiterbild für Lampensteller in Unterputzdose nach Bild 13b, b – Ansicht eines »Handmusters«

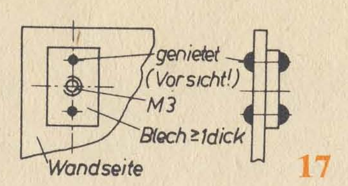


16b



16a

Bild 16
a – Bestückungsplan zu Bild 15; Bestückung gemäß Bild 13; b – Bauelementeseite des »Handmusters«. Gleichrichtermontage nach Bild 18. Senkschraube M3 × 30 (möglichst Messing) in 5 stecken und vorsichtig Mutter anziehen. Bauelemente stehend montieren und gegen Berühren untereinander sichern; zwischen Potentiometermutter und Leiterplatte Hartpapierscheibe legen



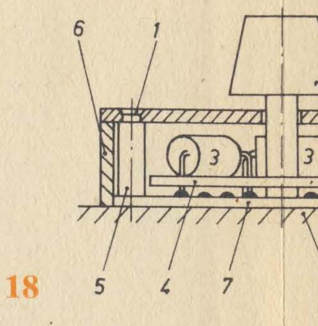
17



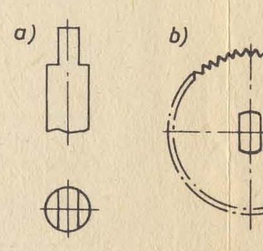
Bild 17
Befestigungsmöglichkeit der Abdeckhaube an der Leiterplatte mit Gewindeplatten

Bild 18
Abdeckhaube für Graetz-Gleichrichter; 1 – Senkschraube, 2 – Drehknopf (Madenschraube versenkt und mit Isoliermaterial abgedeckt!), 3 – Gleichrichter (4 × SY 320/4, 204 oder 360/4), 4 – Isolierzwischenplatte (Achse ebenfalls isolieren!), 5 – Abstandsisolierrohr, 6 – Polystyrolplattenmaterial für Haube (geklebt), 7 – Leiterplatte (Leiterseite oben), 8 – Wand mit Unterputzdose (darin übrige Schaltung)

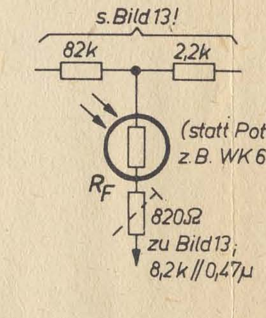
Bild 19
Vollisolierte Potentiometer-Bedienung; a – Änderung an der Potentiometerachse, b – mit Feile geriffelte Stellscheibe aus Polystyrol oder PVC mit Ausschnitt für a, c – Einbaulage: 1 – Abdeckhaube, 2 – Stellscheibe nach b, 3 – Potentiometer, 4 – Leiterplatte, 5 – Unterputzdose, 6 – Wand



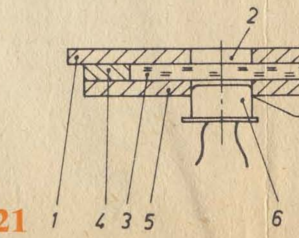
18



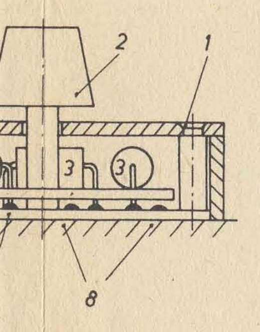
19

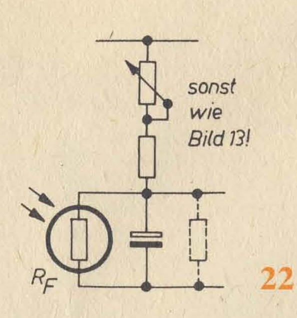


20

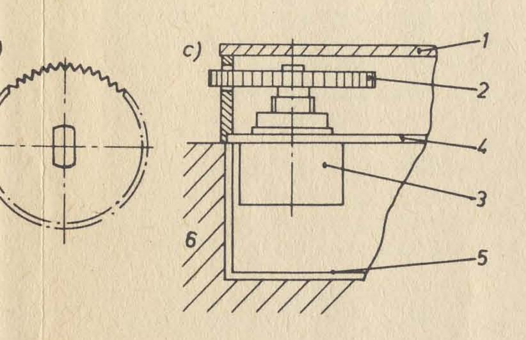


21





22



2k

statt Poti)
B. WK 65060

2
ild13;
//0,47µ

2
geklebt
6

Bild 20
Lichtsteuerung für automatisches Einschalten bei Lichteinfall und Selbsthaltung für die Schaltung nach Bild 13

Bild 21
Einbau des Fotowiderstands in Deckplatte der Unterputzdosenvariante (Löschen durch kurzzeitiges Abdecken der Öffnung 2 mit dem Finger); 1 – undurchsichtige Deckplatte (Polystyrol oder PVC), 2 – Öffnung für Lichteintritt, 3 – durchsichtiges Isoliermaterial (z. B. Piacryl), 4 und 5 wie 1, miteinander verklebt, 6 – Fotowiderstand (in 5 eingesteckt bzw. geklebt)

Bild 22
Einsatz des Fotowiderstands in die Schaltung nach Bild 13 für stetig reagierenden Dämmerungsschalter



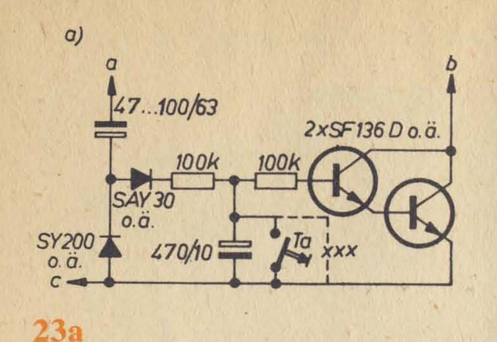
6. »typofix«-Folie zum Bauplan

Dieser Bauplan enthält viel Grundlageninformation und umfaßt zahlreiche Varianten von Steuerschaltungen für rationelle Beleuchtungen, die man den gegebenen Verhältnissen anpassen kann. Leiterplatten wurden daher nur für einige typische Anwendungen entworfen, an zentraler Stelle für den Vollwellen-Lampensteller mit Graetz-Brücke. Man kann ihn sowohl in einer Unterputzdose in der Wand unterbringen wie auch als selbständige Box, vielleicht als eine Art »Schnurschalter« eingesetzt, betreiben. Es erschien sinnvoll, den zahlreichen Einsatzmöglichkeiten im Wohnbereich Rechnung zu tragen. Die »typofix«-Folie enthält daher 2mal dieses Leiterbild. Dennoch blieb gerade noch genügend Raum, um die von den Bauelementen her überall realisierbaren Schaltungen »ortsunabhängige Zeitlampe« und »Sensorlampe« mit Netzteilplatte auf der Folie unterzubringen. Für die beiden CMOS-Schaltungen erschien der Zeitpunkt für einen breiten Einsatz noch zu früh, und die übrigen Schaltungen – besonders bezüglich Lampenausgang – wird man den räumlichen Gegebenheiten anpassen wollen. Streifen- oder andere Universalleiterplatten sind dafür das geeignete Mittel. Es dürfte sie inzwischen überall ausreichend geben.

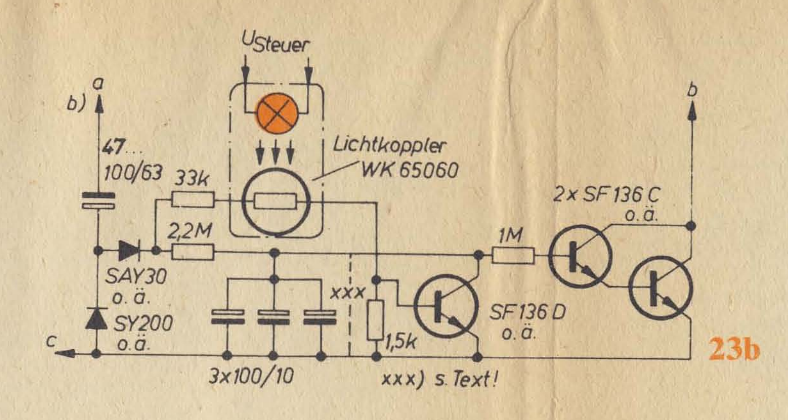
Tabelle 1

	Plastthyristor	Einpreßthyristor	einschraubbarer Thyristor (nicht mehr in Produktion)		
	ST 103/1...6	ST 108/0,5...6	ST 111/1...12	ST 121/1...12	
Dauergrenzstrom	3	6	13	23	A
effektiver Durchlaßstrom	4,5		25	40	A
periodischer Spitzenstrom	15		145	235	A
Zündspannung	<3	3	<3	<3	V
Zündstrom	<20	150	<100	<100	mA
Haltestrom	<20		<80	<80	mA
Schwellspannung (bei ...A)	<2 (9 A)		<2 (60 A)	<2 (60 A)	V
Sperr- und Blockierstrom (bei periodischer Spitzenspannung)			<5	<5	mA
Zündzeit	<10		4	4	µs
Freiwerdezeit	<100	60	60	60	µs
innerer Wärmewiderstand	<10		<1,3	<1	K/W

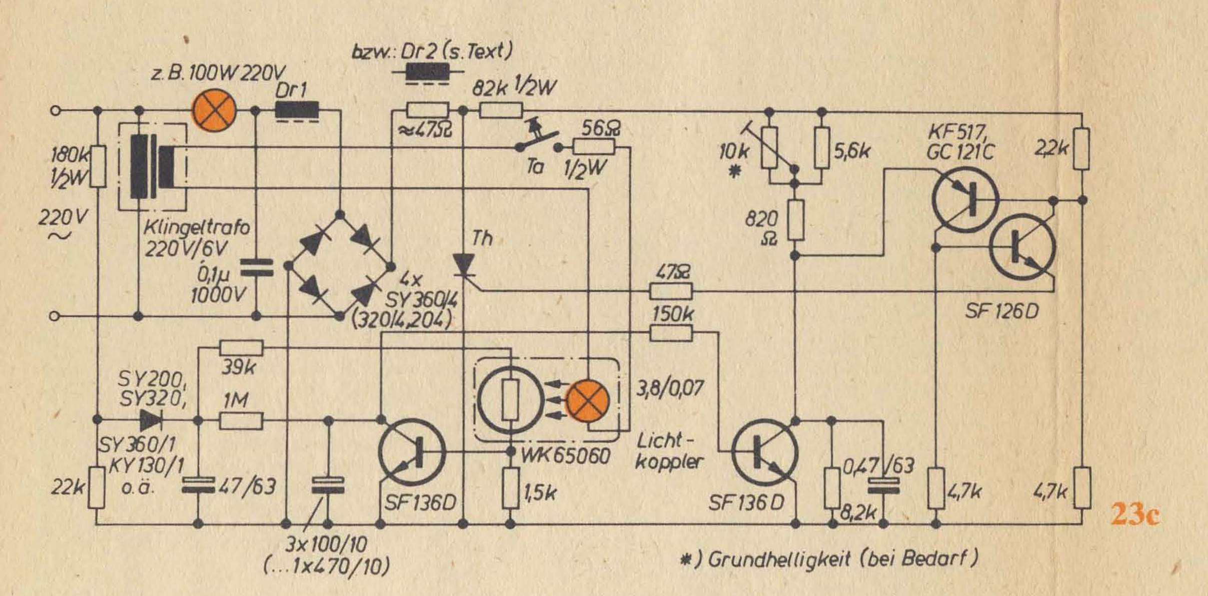
1. Auflage, 1.–25. Tausend · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1981 Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539 · Lektor: Rainer Erlekampf · Typografie: Helmut Herrmann · Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Redaktionsschluß: 20. Januar 1981 · Bestellnummer: 746 259 5



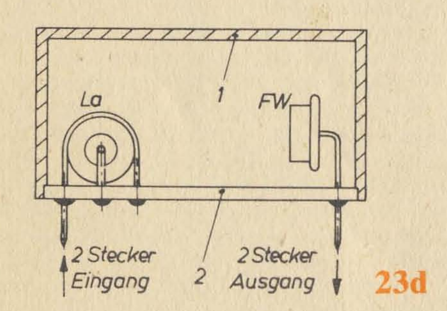
23a



23b

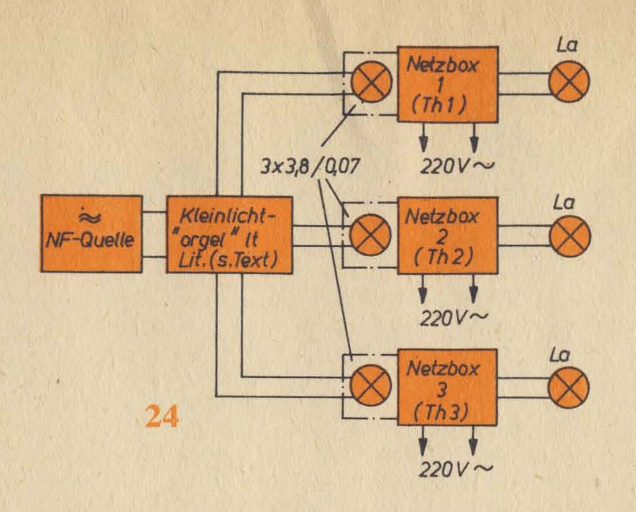


23c

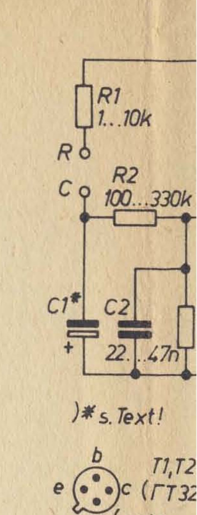


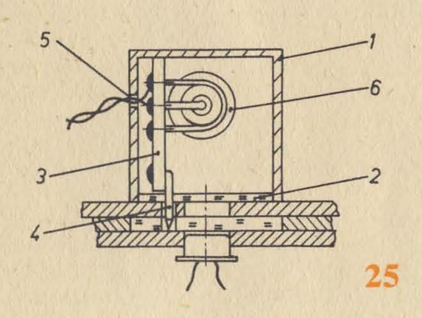
23d

Bild 23
Vollelektronischer Treppenlichtautomat mit Sicherheitsschaltung und beliebigem Neustart; a – über netzspannungführende Tasten, b – über schwachstrombetätigten Lichtkoppler geschalteter Zusatz, c – Gesamtschaltung eines vollelektronischen Treppenlichtautomaten mit Lichtkoppler, d – Vorschlag für den Lichtkoppler (1 – undurchsichtige Plastkappe, etwa 20 mm × 25 mm × 40 mm Innenmaße als Beispiel), 2 – Leiterplatte 25 mm × 40 mm groß



24





25

Bild 26
Vorschlag: Vollisolierter Impulstransformator für Schwachstromsteuerung von Thyristornetzkreisen: 1 – Schalen- oder EE-Kern-Hälften, 2 – Spulenkörper, aus 2 2-Kammer-Körpern gewonnen, 3 – Wicklung, 4 – isolierende Schalterboxwand

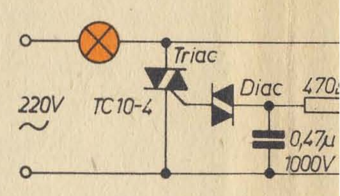
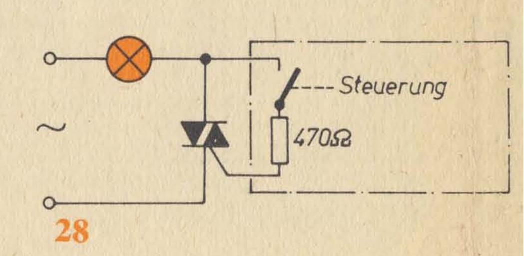
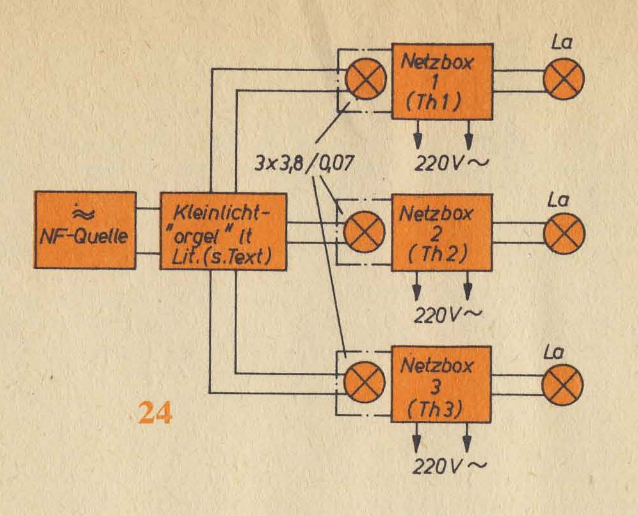


Bild 24
Vorschlag für lichtkopplergesteuerte Lichtorgelanlage.
La: Je Box bis zu 3 × 40 W oder 1 × 100 W/220V

Bild 25
Aufsetzen eines »Steuerlampenkopfs« auf die Thyristorbox; 1 – undurchsichtige Plastkappe mit eingeklebter durchsichtiger Polystyrolbodenplatte (2), 3 – Leiterplatte 20 mm × 25 mm mit 2 Winkelsteckern (4) zum Einstecken in 2 Bohrungen (Durchmesser 1,1 mm) in der Deckplatte nach Bild 21, 5 – lichtdicht verklebte Zuleitungsöffnung, 6 – Lampe (z. B. 3,8/0,07)



28



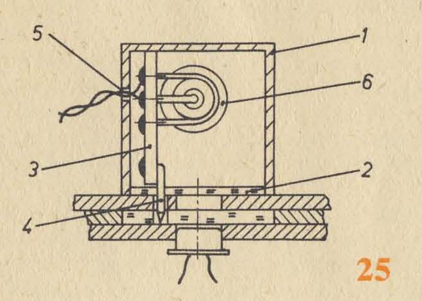
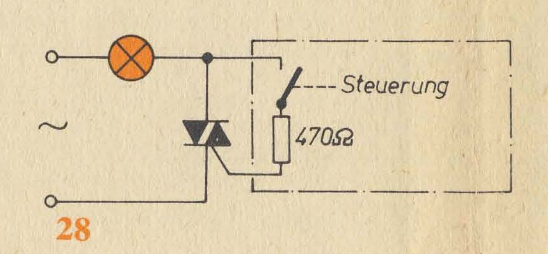


Bild 24
Vorschlag für lichtkopplergesteuerte Lichtorgelanlage.
La: Je Box bis zu 3 × 40 W oder 1 × 100 W/220V

Bild 25
Aufsetzen eines »Steuerlampenkopfs« auf die Thyristorbox; 1 – undurchsichtige Plastkappe mit eingeklebter durchsichtiger Polystyrolbodenplatte (2), 3 – Leiterplatte 20 mm × 25 mm mit 2 Winkelsteckern (4) zum Einstecken in 2 Bohrungen (Durchmesser 1,1 mm) in der Deckplatte nach Bild 21, 5 – lichtdicht verklebte Zuleitungsöffnung, 6 – Lampe (z. B. 3,8/0,07)



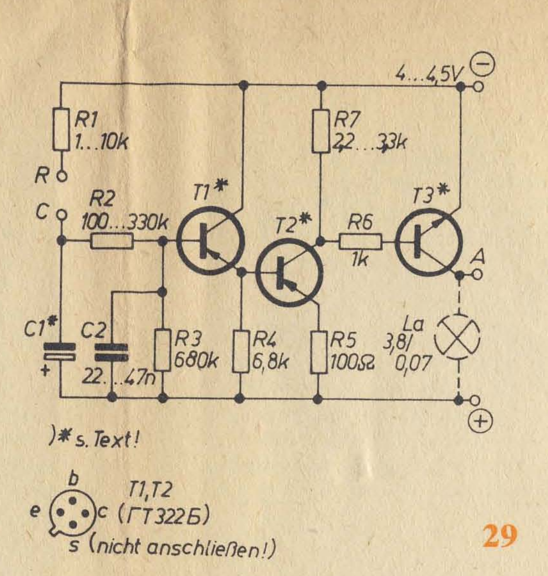
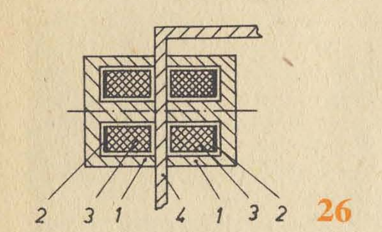


Bild 26
Vorschlag: Vollisolierter Impulstransformator für Schwachstromsteuerung von Thyristornetzkreisen: 1 – Schalen- oder EE-Kern-Hälften, 2 – Spulenkörper, aus 2 2-Kammer-Körpern gewonnen, 3 – Wicklung, 4 – isolierende Schalterboxwand



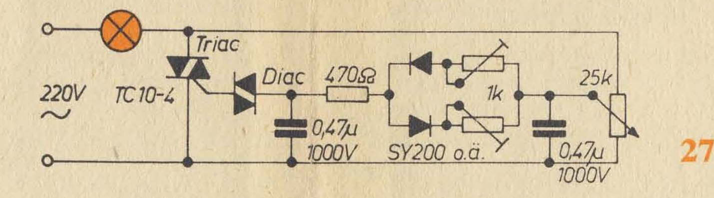


Bild 27
Mögliche Schaltung eines Triac-Lampenstellers (Symmetrierung der Zündpunkte für beide Richtungen), ohne Entstörung dargestellt

Bild 28
Typischer Einsatz eines Triac: Leistungsschalter für beide Halbwellen

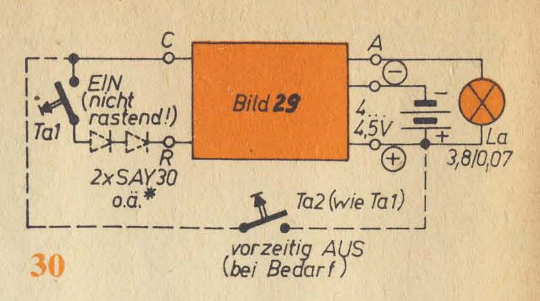
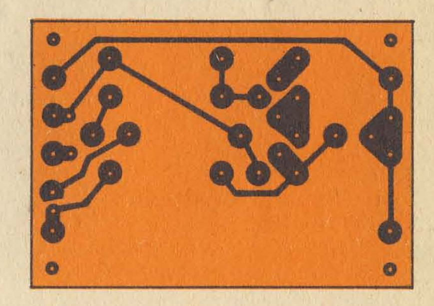
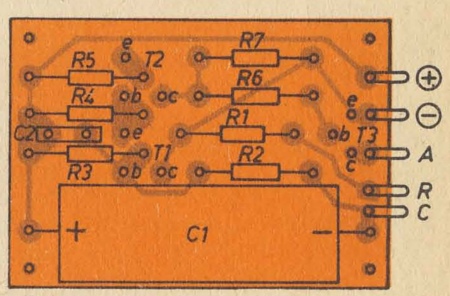


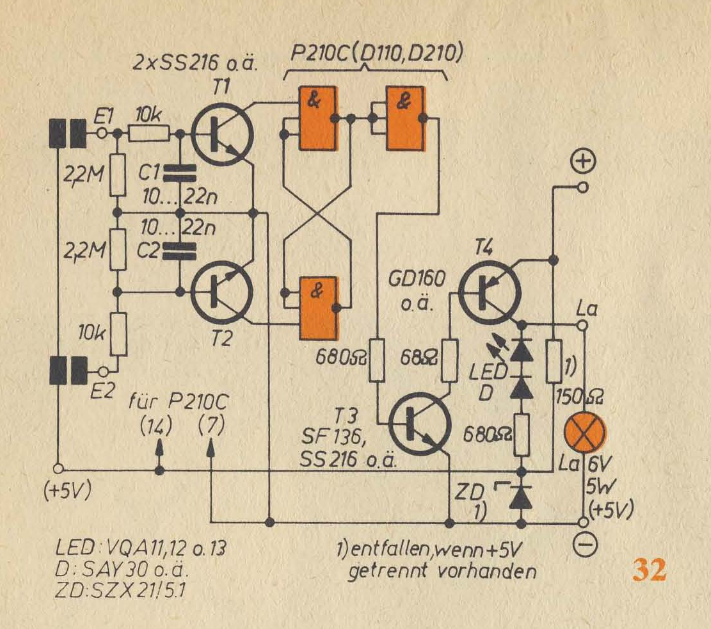
Bild 29
Ortsunabhängige »Zeitlampe«, Leiterplattenteil

Bild 30
»Zeitlampe«, Gesamtstromlaufplan mit Starttaste Ta1 und Taste für vorzeitiges Löschen Ta2

Bild 31
Leiterbild und Bestückungsplan zu Bild 29







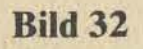


Bild 32
Aus Niederspannungstransformator gespeiste Sensorlampe

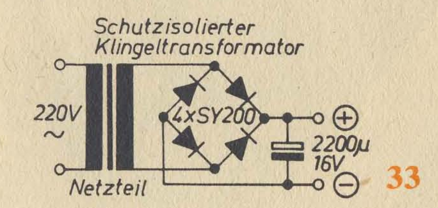


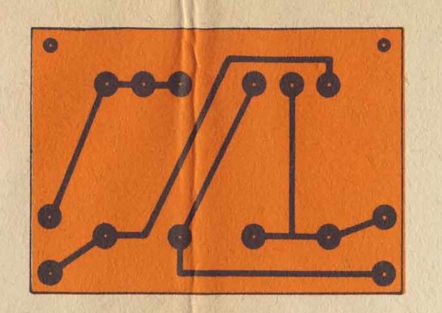
Bild 33
Netzteil zur Sensorlampe

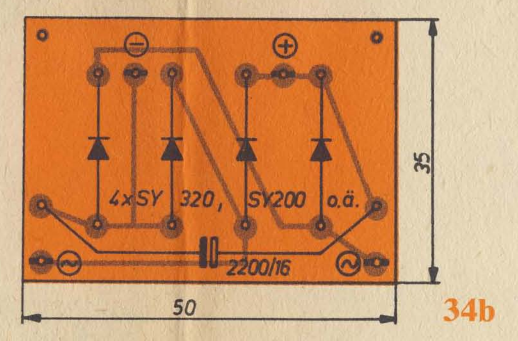
Bild 34
Leiterbild und Bestückungsplan zu Bild 33

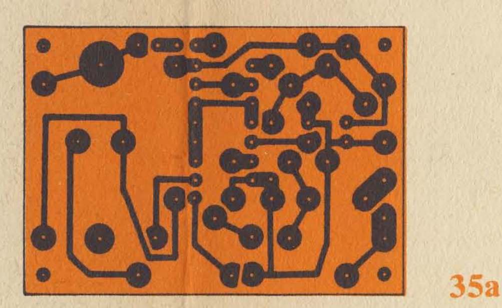
Bild 35
Leiterbild und Bestückungsplan zu Bild 32

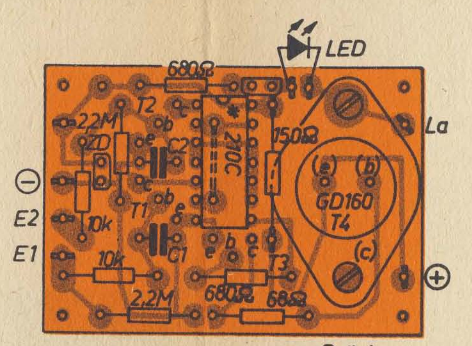
Bild 36
Auch bei mittlerer Umgebungshelligkeit reagierende lichtgesteuerte Lampe (Blitzlicht- oder Taschenlampenzündung), wahlweise mit Kontrollanzeige bei zu großer Helligkeit

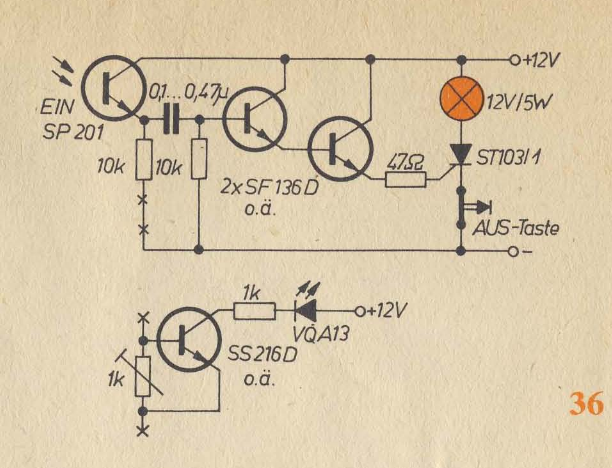
Bild 37
Löschthyristorschaltung für Gleichspannungsbetrieb mit Impulssteuerung EIN/AUS über eine einzige Taste

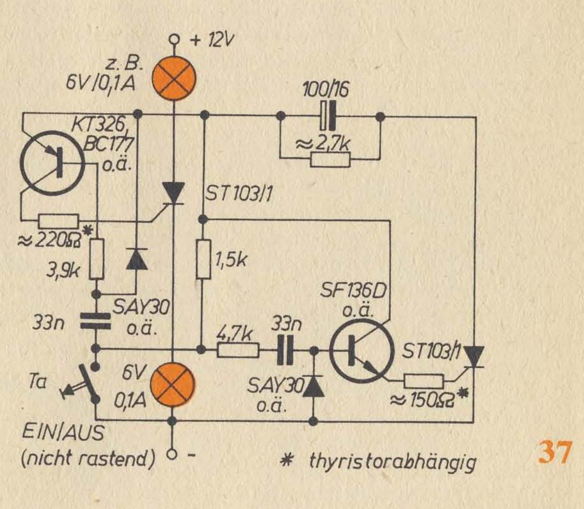


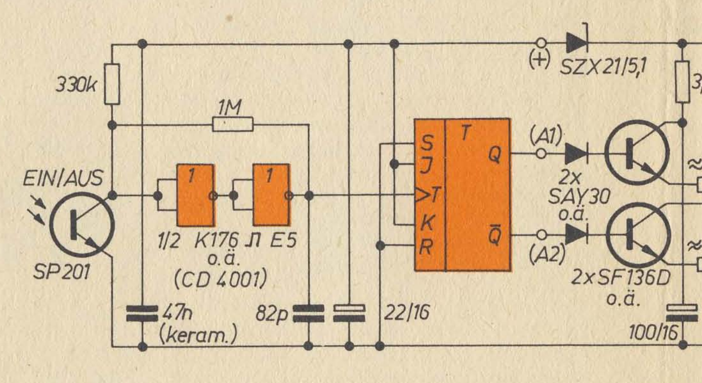


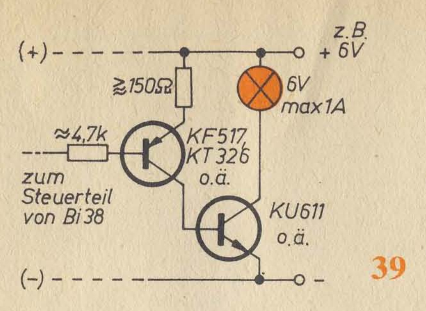




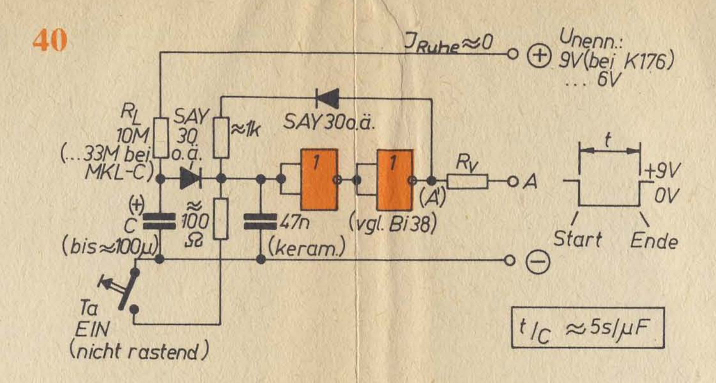








39



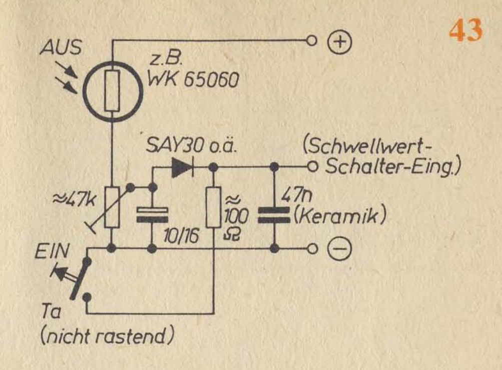


Bild 38
Ruhestromfreie CMOS-gesteuerte EIN/AUS-Gleichspannungslampe mit Reaktion auf Taschenlampen-Lichtimpuls (umgeschaltet wird jeweils bei Verlöschen des Steuerlichts)

Bild 39
Andere Möglichkeit für ruhestromfreie, lichtgesteuerte EIN/AUS-Schaltung einer Kleinspannungsbeleuchtung (geeignet auch z. B. für Bild 40, Punkt A')

Bild 40
Ruhestromfreier CMOS-Zeitschalter, Steuerschaltung für »Minutenlicht«, z. B. an Bild 39 oder Bild 41 anschließbar

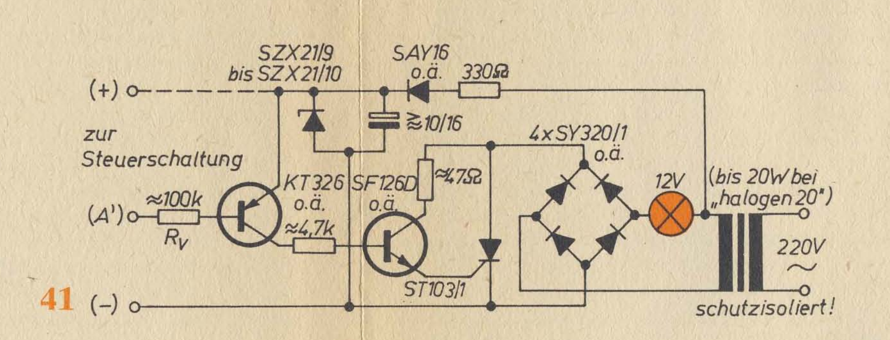
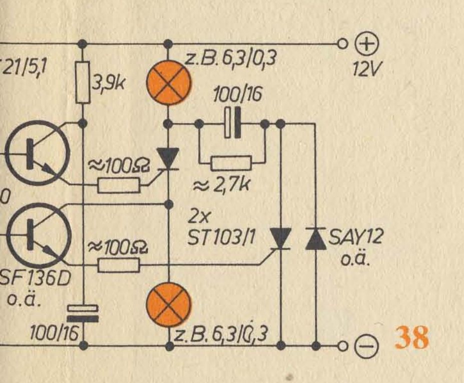


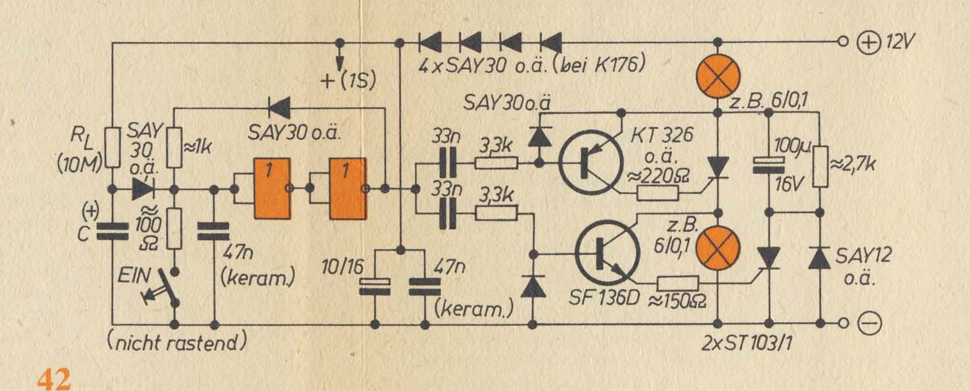
Bild 41
Wechselspannungsvariante für Lampenteil zu den Steuerschaltungen, z. B. nach Bild 38 oder Bild 40, u. a. mit »halogen 20«-Transformator realisierbar

Bild 42
Ruhestromfreie Minutenbeleuchtung mit Impulssteuerung für Löschthyristorbetrieb an Klein-Gleichspannung (CMOS)

Bild 43
Dämmerungsschaltereingang im »Sparbetrieb« (Start am Abend von Hand, Ausschalten am Morgen automatisch) für die Steuerschaltung nach Bild 40 und die verschiedenen, in Bild 40 genannten Lampenausgänge



38



42